This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

**Usage guidelines**

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

**About Google Book Search**

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

UC-NRLF
B 4 500 957

Digitized by Google

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
GIFT OF
Louis Janin.
Received Dec , 1897.
Accession No. 68709 . Class No.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

# COURS

PROFESSÉS

# A L'ÉCOLE DES MINES DE PARIS

---

DEUXIÈME PARTIE

## COURS D'EXPLOITATION DES MINES

Digitized by Google

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

Digitized by Google

# COURS

PROFESSÉS

# A L'ÉCOLE DES MINES DE PARIS

PAR

**M. J. CALLON**

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES

---

DEUXIÈME PARTIE

## COURS D'EXPLOITATION DES MINES

TOME PREMIER

---

**TEXTE**

---

PARIS

DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES

49, QUAI DES AUGUSTINS, 49

1874

Droits de traduction et de reproduction réservés

Digitized by Google

houille; car elles diffèrent essentiellement, soit par l'échelle sur laquelle cette production est réalisée, soit par la puissance et même par la nature des moyens employés.

Ainsi, la force des engins d'épuisement et surtout d'extraction a été considérablement accrue; des moyens mécaniques ingénieux et variés ont été créés pour la ventilation; les méthodes d'exploitation, particulièrement pour les gîtes puissants, ont été étudiées et perfectionnées; la préparation mécanique des minerais a été entièrement renouvelée; de nouveaux procédés ont été imaginés pour aller attaquer des mines à travers des terrains jusqu'ici inabordables, etc...

Enfin, il n'est pas jusqu'aux détails qui semblaient le moins se prêter à des innovations, tels que l'introduction et la sortie des ouvriers, les transports intérieurs, et même le travail manuel de l'ouvrier à son chantier, qui n'aient été renouvelés, ou ne soient en voie de l'être d'une manière plus ou moins complète.

Le but de ces diverses modifications a été, dans l'art des mines comme dans les autres industries, d'arriver à des économies dans les frais généraux par la concentration et le développement des moyens de production, et à des économies de main-d'œuvre par l'emploi, de plus en plus étendu, des moyens mécaniques.

On peut justement dire que l'industrie des mines était une de celles qui devaient entrer le plus largement dans la voie de ces modifications, non-seulement parce que, en général, les capitaux ne lui ont pas fait défaut, non plus que l'intelligence et la compétence dans la direction; mais aussi parce qu'il a fallu, à considérer la chose dans leur ensemble, s'ingénier beaucoup moins pour chercher des débouchés aux produits que pour tâcher de mettre ces produits au niveau

Digitized by Google

des demandes; beaucoup moins aussi pour employer tous les bras disponibles que pour chercher à remédier à leur insuffisance.

On peut même penser qu'en présence des besoins incessamment et rapidement croissants de la consommation, il devint de plus en plus difficile, et il deviendra bientôt peut-être impossible, du moins pour certains produits, de maintenir l'équilibre entre ces besoins et la puissance de production, à cause de la double difficulté résultant, soit de l'étendue limitée des terrains miniers, soit de la rareté de la main-d'œuvre.

La connaissance des divers moyens qui peuvent permettre de retarder ou de restreindre ce défaut d'équilibre, est donc indispensable au mineur, et leur bonne et intelligente application s'élève, pour ainsi dire, à la hauteur d'un intérêt public.

Je me propose, dans l'ouvrage que je livre aujourd'hui au public, de décrire ces divers moyens avec les détails nécessaires pour en faire comprendre l'importance et pour en rendre l'application possible.

A ce point de vue, je pense que cette publication pourra avoir son utilité propre, et ne pas faire double emploi avec des ouvrages déjà anciens, notamment avec le *Traité d'exploitation* de M. Combes, quel que soit son mérite, et quelle qu'ait été son utilité incontestable au moment où il a été publié.

Digitized by Google

Digitized by Google

# ERRATA

## DU PREMIER VOLUME

(Le premier numéro indique la page où se trouve l'erreur à corriger; le second numéro indique la ligne de la page; il est suivi de la lettre D ou de la lettre M, suivant que les lignes de la page sont comptées en descendant ou en montant).

| PAGES | LIGNES | AU LIEU DE | LISEZ |
|---|---|---|---|
| 85 | 10 D. | comprennent d'abord, | comprennent en premier lieu. |
| 91 | 2 D. | ploration par sondage, | exploration par sondage. |
| 113 | 17 D. | ou casse-pierre, prisme à 4 faces | ou casse-pierre (fig. 69), prisme à quatre faces, |
| 171 | 1 M. | fig. 118, | fig. 118 et 118 bis. |
| 206 | 9 M. | 12740 kilogrammètres, | 38226 kilogrammètres. |
| 206 | 12 M. | le treizième, | le quart. |
| 206 | 13 M. | $T_m = \frac{1^k}{2g} \times (500)^2 = \frac{250000}{19.62} = 12740.$ | $T_m = \frac{3^k}{2g} (500)^2 = \frac{250000}{6,54} = 38226.$ |
| 235 | 5 M. | données mécaniques. | données numériques. |
| 235 | 13 D. | N° 185. | N° 184. |
| 262 | 14 M. | un joint au mortier de 2 centimètres. | un joint au mortier d'un centimètre, |
| 262 | 17 M. | des nombres 1, 2 et 3. | des nombres 1, 2 et 4. |
| 267 | 14 M. | proportionnelle au rayon de courbure. | qui croîtrait de la clef aux naissances. |
| 268 | 8 M. | N° 181. | N° 184. |
| 269 | 3 M. | les figures 170 à 179. | les figures 170 à 180. |
| 280 | 7 M. | Total 9.15. | Total 9.45, |
| 282 | 7 D. | du numéro 193. | du numéro 192. |
| 285 | 4 D. | de la figure 85. | de la figure 185. |
| 306 | 19 D. | La figure 193 représente, | Les figures 193 représentent. |

Digitized by Google

| PAGES | LIGNES | AU LIEU DE | LISEZ |
|---|---|---|---|
| 318 | 14 D, | Ce système, représenté fig. 196, est usité, | Ce système est usité. |
| 355 | 8 D. | au n° 206, | au n° 227. |
| 354 | 12 M. | énoncées au n° 254, | énoncées au n° 256. |
| 376 | 15 M. | N° 267, | N° 268. |
| 386 | 2 M. | N°s 285 et 290, | N°s 285 à 290. |
| 389 | 9 D. | représentée fig. 215, | représentée fig. 216. |
| 397 | 12 D. | On peut encore remplaçant la taille. | On peut encore, dans ce cas, remplacer la taille. |
| 404 | 10 M. | dénommées au n° 280, | dénommée au n° 282. |
| 408 | 7 à 9 M. | La figure 226 suppose qu'on est en 3me tranche, la couche de 8 à 10 mètres ayant été partagée en 4 tranches de 2 mètres à 2m,50, | La figure 226 suppose qu'on est en 5me tranche, la couche de 12 mètres ayant été partagée en 6 tranches de 2 mètres. |
| 409 | 14 D. | soit 16 à 25 mètres, | soit 20 à 25 mètres. |
| 435 | 10 M. | sur une certaine distance, A*a* et B*b*, | sur certaines distances, A*a* et B*b*. |
| 442 | 12 D. | la mine des cornouailles, | la mine du Cornouailles. |
| 442 | 6 M. | d'un ensemble de couches, | d'une série de couches. |

Digitized by Google

# COURS
# D'EXPLOITATION
# DES MINES

## CHAPITRE PREMIER

### DÉFINITIONS ET NOTIONS PRÉLIMINAIRES

(1) Nous nous proposons de faire connaître les divers procédés techniques qui constituent ce qu'on appelle l'*art de l'exploitation des mines*, dont l'objet est la recherche, l'extraction et la préparation, soit pour la vente directe à la consommation, soit pour une élaboration ultérieure, des différentes substances minérales utiles qui existent à la surface ou dans le sein de la terre.

Le sujet est vaste, et il mérite à plus d'un titre d'attirer l'attention.

*Au point de vue économique*, l'art des mines constitue une industrie de la plus haute importance, soit à cause de la valeur des produits annuellement créés, soit à cause de leur nature qui en a fait, pour beaucoup d'entre eux, des objets *de première nécessité*. Il en a été ainsi dès le moment que les hommes ont cessé de vivre à l'état sauvage, qu'ils se sont bâti des demeures fixes, et qu'ils ont commencé à se fabriquer des outils.

*Au point de vue scientifique*, on peut dire que l'art des mines a été, en quelque sorte, l'occasion directe de la naissance et des



Digitized by Google

progrès de plusieurs sciences naturelles, notamment de la minéralogie et de la géologie.

Enfin, *au point de vue technique*, on constate que c'est à l'exploitation des mines et aux difficultés matérielles, souvent considérables, contre lesquelles le mineur doit lutter, que sont dus beaucoup de procédés ingénieux, hardis, puissants, qui sont passés ensuite dans le domaine public de l'industrie.

Il nous suffira de rappeler qu'au moyen âge, c'est pour les mines qu'ont été faits les premiers travaux d'aménagement des eaux motrices et qu'ont fonctionné les premiers récepteurs hydrauliques rationnellement établis; que, depuis un siècle, c'est encore pour les mines qu'ont fonctionné les premières machines à vapeur, et que les premiers chemins de fer ont été établis; que ce sont enfin les nécessités de l'exploitation et de la préparation qui ont fait établir et multiplier les appareils de ventilation et ceux de triage, de classement, etc., etc., dont l'industrie générale a fait ensuite son profit.

Encore aujourd'hui, malgré les progrès réalisés par l'industrie dans tant de directions diverses, une grande mine en pleine activité, avec ses appareils d'extraction et d'épuisement, ses moyens de ventilation, ses machines pour descendre et monter les ouvriers, ses appareils de préparation mécanique, offre un des spécimens les plus remarquables de l'activité humaine et de son triomphe sur la matière.

(2) Tel est donc, en résumé, le champ très-étendu que nous avons à parcourir.

Le premier pas à faire dans notre étude est de définir les *gîtes*, ou *gisements*, dans lesquels se trouvent les substances utiles que le mineur vient y chercher pour les approprier aux besoins de la société.

La loi française du 21 avril 1810, qui régit en France et en Belgique la propriété minérale, et qui la régissait naguère dans les provinces rhénanes de la rive gauche, débute de la manière suivante :

« Article 1er. — *Les masses de substances minérales ou fossiles renfermées dans le sein de la terre ou existantes à la surface, sont classées,*

Digitized by Google

*relativement aux règles de l'exploitation de chacune d'elles, sous les trois qualifications de mines, minières et carrières.*

« Art. 2. — *Seront considérées comme mines celles connues pour contenir en filons, en couches ou en amas : de l'or, de l'argent, du platine, du mercure, du plomb, du fer en filons ou couches, du cuivre, de l'étain, du zinc, de la calamine, du bismuth, du cobalt, de l'arsenic, du manganèse, de l'antimoine, du molybdène, de la plombagine, ou autres matières métalliques, du soufre, du charbon de terre ou de pierre, du bois fossile, des bitumes, de l'alun et des sulfates à base métallique.*

Art. 3. — *Les minières comprennent les minerais de fer dits d'alluvion, les terres pyriteuses propres à être converties en sulfate de fer, les terres alumineuses et les tourbes.*

Art. 4. — *Les carrières renferment les ardoises, les grès, pierres à bâtir et autres, les marbres, granites, pierres à chaux, pierres à plâtre, les pouzzolanes, le tras, les basaltes, les laves, les marnes, craies, sables, pierres à fusil, argiles, kaolin, terres à foulon, terres à poterie, les substances terreuses et les cailloux de toute nature, les terres pyriteuses regardées comme engrais; le tout exploité à ciel ouvert ou avec des galeries souterraines.* »

(3) Cette classification en *mines*, *minières* et *carrières* (dans laquelle on a omis les gisements de sel gemme, classés ultérieurement dans les mines), est, on le voit, relative à la *nature de la matière* que fournit le gîte, et elle entraîne, pour la propriété de ce gîte, des régimes différents.

Une mine ne peut être exploitée qu'en vertu d'un acte de concession délibéré en conseil d'État, acte qui règle les droits des propriétaires de la surface sur le produit de la mine concédée.

Les minières appartiennent au propriétaire du sol; mais ce propriétaire est tenu de les exploiter, de manière à satisfaire, autant que faire se peut, aux besoins des consommateurs; à son défaut ceux-ci peuvent être autorisés à exploiter à sa place. Le prix de vente, dans le premier cas, et la redevance, dans le second, sont réglés de gré à gré ou par des experts.

Cependant les tourbières ne peuvent être exploitées que par les

Digitized by Google

propriétaires du terrain, ou de leur consentement. La mise en exploitation de ces tourbières ne peut avoir lieu, même par un propriétaire, qu'après une déclaration à l'administration, et sous la condition de se conformer, dans la conduite des travaux, aux conditions locales imposées par un règlement d'administration publique, dans l'intérêt général du bon aménagement du gîte.

Pour les carrières, elles appartiennent entièrement au propriétaire du sol. Lorsqu'elles sont à ciel ouvert, elles peuvent être exploitées sous la simple surveillance de la police et avec l'observation des lois ou règlements généraux ou locaux. Sont-elles souterraines, elles sont soumises à la même surveillance administrative que les mines, principalement au point de vue de la sûreté des hommes et des choses.

Ce système, un peu complexe, est comme la résultante de deux courants d'idées auxquels obéissaient les législateurs à qui l'on doit la loi de 1810 : d'un côté, le désir de rester dans les conditions du Code civil, qui dit expressément que la propriété du sol emporte la propriété du dessus et du dessous ; d'autre part, en présence d'une propriété superficielle morcelée comme elle l'est en France, et de subdivisions établies sans aucun rapport avec la disposition d'un gîte dans le sein de la terre, la crainte de voir des gisements importants rester inexploités, par suite soit du morcellement excessif du sol, soit de l'impuissance financière ou de l'indifférence des propriétaires de la surface.

On n'a donc laissé à la *libre disposition de ceux-ci* que les substances abondantes et communes, pouvant être habituellement mises en exploitation sans grands frais, et qu'on ne peut craindre de voir rester partout inexploitées. On a au contraire réglementé, comme il a été dit plus haut, celles de ces substances déjà plus rares, dont les détenteurs sont en nombre limité dans une localité donnée, et dont il importe d'assurer l'exploitation et l'aménagement. Enfin, on a enlevé au propriétaire du sol, en ne lui laissant qu'une part à déterminer sur les produits, tous les gîtes relativement rares ou d'une exploitation coûteuse, dont la mise en valeur importe à l'intérêt public, et qui a été jugée dépasser en général les facultés de ce propriétaire ; on en fait une propriété nouvelle, distincte de celle

Digitized by Google

du sol, délimitée d'après l'allure du gîte et les convenances de son exploitation future, et sans égard aux divisions arbitraires de la propriété superficielle. Cette propriété nouvelle est donnée à un concessionnaire qui a justifié de moyens financiers suffisants et qui accepte un cahier des charges déterminé.

Nous n'avons pas ici à nous occuper plus amplement de ce système, qui ne concerne que le régime de *la propriété* d'un gîte donné, et n'a point de rapport déterminé avec *la manière d'être de ce gîte dans le sein de la terre*, ou avec ce qu'on appelle *son allure*, d'où devront résulter les conditions techniques de son exploitation. C'est au point de vue de ces dernières conditions que nous devons chercher une classification des gîtes, et nous en trouvons le point de départ dans la loi elle-même, qui distingue, à l'article 2 précité, les masses de substances minérales sous les noms de *filons*, de *couches* ou *d'amas*.

Il est essentiel de bien préciser le sens de ces trois mots; il en résultera une sorte de définition géométrique de ces différents gisements, définition qui servira de point de départ, soit pour les travaux de recherche que l'on peut avoir à faire sur ces gisements, soit pour les travaux d'exploitation.

Pour arriver à cette définition, il est nécessaire de rappeler les idées qui sont généralement admises par les géologues sur les diverses phases par lesquelles a passé le globe terrestre depuis l'origine des temps géologiques. Nous le ferons aussi succinctement que possible.

(4) La terre semble avoir été primitivement tout entière à l'état de fluidité ignée, formant une sorte de magma plus ou moins pâteux.

On explique ainsi sa forme sphéroïdale, un peu aplatie vers les pôles et renflée à l'équateur par suite de son mouvement de rotation; sa densité moyenne, notablement plus grande que celle des corps qu'on observe à la surface, conformément aux lois les plus simples de l'hydrostatique; l'augmentation de température constatée à mesure qu'on s'enfonce au-dessous de sa surface, augmentation qui est sur le pied d'environ 1° par 30 mètres et qui persiste jus-

Digitized by Google

qu'aux plus grandes profondeurs atteintes par l'homme ; l'existence de sources thermales dont la température s'élève parfois, au point d'émergence, presque à la température de l'ébullition de l'eau.

Allant plus loin, on suppose même que cette fluidité ignée existe encore aujourd'hui, et que notre terre n'est ainsi qu'une masse en fusion recouverte seulement d'une croûte solidifiée d'une certaine épaisseur. Cette épaisseur est même supposée très-faible relativement au rayon terrestre.

Il ne faudrait, en effet, descendre qu'à un petit nombre de myriamètres, pour trouver, en supposant que la loi d'accroissement de température se maintînt sur le pied de 1° par 30 mètres, une chaleur qui suffirait pour fondre la plupart des corps que nous connaissons. D'ailleurs la *présence actuelle* des roches fondues à l'intérieur de la terre est manifestée par les phénomènes volcaniques, qui amènent ces roches au jour dans un état liquide plus ou moins parfait, et avec une densité moyenne plus grande que les roches ignées d'origine plus ancienne, venant d'une moindre profondeur.

Admettant donc cette hypothèse que la terre a été primitivement un globe tout entier à l'état de fluidité ignée, et qu'elle y est encore, sauf une croûte relativement mince (de quelques myriamètres seulement d'épaisseur), on pourra en quelque sorte reconstituer l'histoire des phases successives par lesquelles elle a dû passer.

(5) A l'origine des temps, lorsqu'elle était encore très-chaude à la surface, l'eau n'y pouvait exister à l'état liquide ; elle était donc entourée d'une atmosphère épaisse, qui, à en juger par la profondeur moyenne et par l'étendue des mers, devait exercer une pression supérieure, de plusieurs centaines de fois, à la pression atmosphérique actuelle. Sous cette énorme pression, les matières de la surface étaient entretenues à l'état fluide, à la fois par la chaleur et par l'action de l'eau qui, sous l'influence combinée d'une haute température et d'une forte pression, agissait comme un disssolvant énergique.

La température de la surface allant en diminuant avec le temps, les matières les plus réfractaires ont commencé à se solidifier ; ces masses solidifiées se sont peu à peu étendues, soudées les unes

Digitized by Google

aux autres, et ont fini par former une croûte à peu près continue. Mais cette croûte se contractant par le refroidissement, *plus rapide alors à la surface qu'à l'intérieur de la terre*, a exercé une pression de plus en plus forte sur la masse fondue sous-jacente. La croûte s'est fendue sous la réaction de cette masse, et par une sorte de roèhage, la masse a traversé les fissures et est venue s'épancher à la surface, en formant les premières montagnes qui aient apparu à la surface du globe ; montagnes qui se distinguent par leurs formes mamelonnées et tuberculeuses, comme sont, par exemple, les montagnes formant le massif primitif central de la France.

Ces premières inégalités du sol une fois produites, dès que la température de la surface a permis à l'eau d'y exister à l'état liquide, un nouvel ordre de phénomènes, qui persiste encore aujourd'hui, a commencé à se produire, celui de la *sédimentation*. Les eaux tombant en pluie à la surface ont commencé à raviner les terrains, à entraîner ces détritus dans leur cours et à les déposer au fond des lacs ou des mers, où elles venaient se verser.

Il faut comprendre seulement que ces effets de ravinement étaient alors incomparablement plus puissants qu'aujourd'hui, puisqu'un refroidissement atmosphérique accidentel de quelques degrés qui produit des pluies dont l'importance se mesure aujourd'hui par des hauteurs d'eau de quelques millimètres ou au plus de quelques centimètres, pouvait correspondre alors à des différences de *plusieurs atmosphères* dans la force élastique de la vapeur.

Sous cette action puissante et probablement à peu près continue, les terrains sédimentaires devaient augmenter rapidement d'épaisseur, et comme l'accroissement de température en s'enfonçant au-dessous du sol était alors beaucoup plus rapide que de nos jours, les couches profondes se trouvaient bientôt dans des conditions de pression et en même temps de température qui expliquent le facies spécial et les nombreux métamorphismes que nous présentent ces premières roches sédimentaires, sur les points où nous pouvons les observer.

A un premier épanchement des roches éruptives, qui avait diminué la pression intérieure, succédait une période de repos pendant laquelle les crevasses se fermaient, la croûte terrestre augmen-

Digitized by Google

tait d'épaisseur, continuait à se refroidir et recommençait à se resserrer sur la masse liquide. Elle produisait sur elle une pression croissante, jusqu'au moment où une seconde éruption devenait nécessaire pour rétablir l'équilibre.

Cette deuxième éruption venait changer le niveau relatif des diverses parties de la surface ; tel point qui était au-dessous de l'eau se trouvait émergé, tel autre au contraire, qui était d'abord à sec se trouvait submergé. Le phénomène de la sédimentation était ainsi, ou pouvait être, interrompu en un point donné; mais il était continu *sur l'ensemble du globe*, tant que les mouvements produits par une de ces ruptures d'équilibre amenaient ou laissaient des parties de terrain au-dessus du niveau général des eaux.

(6) Telle fut l'histoire de la terre, tant que l'écorce terrestre encore chaude alla en se refroidissant, par le rayonnement dans l'espace, plus rapidement que l'intérieur du globe par sa conductibilité.

Mais il arriva un moment où l'équilibre se fit entre la chaleur que perd par le rayonnement la surface de la terre, et celle qu'elle reçoit d'un côté par le soleil, et de l'autre par le flux de chaleur que lui envoient les masses intérieures encore chaudes.

Dès lors la croûte terrestre cessa de se contracter; la masse intérieure continuant de se refroidir, et par conséquent de diminuer de volume, le mécanisme des soulèvements périodiques se trouva radicalement changé. La croûte terrestre, au lieu de se fendre sous la réaction des masses intérieures, tendit, au contraire, à s'en isoler et à rester comme suspendue au-dessus d'elles, dans une sorte d'équilibre instable, jusqu'à la production de plissements ou de fentes rompant cet état d'équilibre et permettant à la partie solide de venir chercher de nouveau un point d'appui sur la masse sous-jacente.

De là de nouvelles formations de montagnes, essentiellement distinctes des précédentes par le mécanisme de leur formation, et remarquables, en général, par leurs grands alignements et par la rareté relative, quelquefois par l'absence complète des roches d'éruption apparentes à la surface.

Ces phénomènes de plissements et de cassures se sont reproduits

Digitized by Google

à diverses époques, accompagnés de dénivellations qui ont changé le lieu de la sédimentation, et amené des discordances ou des intermittences de stratification.

Un des grands problèmes de la géologie, celui à la solution duquel M. E. de Beaumont s'est si heureusement consacré, est la classification de ces diverses chaînes de montagnes par ordre d'ancienneté, et leur correspondance ou leur synchronisme avec la classification que les études stratigraphiques ont fait introduire dans la série des terrains sédimentaires.

On peut concevoir qu'à mesure que la croûte terrestre devient plus épaisse et plus solide, ces phénomènes de rupture d'équilibre doivent devenir *plus rares*, mais probablement aussi *plus intenses* quand ils viennent à se manifester après un long temps de repos.

Rien ne dit que de semblables phénomènes ne soient pas appelés à se reproduire ; le contraire est même infiniment plus probable, pour ne pas dire certain. En se représentant, par la pensée, la grandeur des phénomènes diluviens que pourrait amener l'apparition d'une grande chaîne de montagnes, comme les Alpes ou comme les Andes, qui viendrait à changer brusquement la position des mers, et en considérant, d'autre part, l'apparition si récente de l'homme à la surface de la terre, on est conduit à se demander si l'histoire de l'humanité n'est pas destinée à être comprise tout entière entre deux de ces grands cataclysmes périodiques que nous constatons dans le passé, et dont nous devons prévoir le retour.

(7) Sans insister sur ce dernier ordre d'idées, nous résumons comme suit les conséquences de ce que nous venons d'exposer.

L'observateur, étudiant les terrains qui composent l'écorce terrestre, parviendra facilement à les distinguer en deux grandes catégories essentiellement différentes par leur origine.

L'une comprend les terrains *d'origine ignée*, ou terrains *plutoniques*, *éruptifs*, *cristallins* (tous ces mots sont équivalents), qui appartiennent à la première croûte du globe solidifié, ou qui sont arrivés au jour, ou près du jour, à diverses époques, par suite des phénomènes de soulèvement qu'a produits l'un ou l'autre des mécanismes indiqués plus haut.

Digitized by Google

L'autre catégorie comprend les terrains d'*origine aqueuse*, dits aussi terrains *neptuniens*, *sédimentaires*, *stratifiés*, dont la série, sur l'ensemble du globe, est essentiellement continue, depuis que les eaux ont commencé à raviner la surface inégale du sol, et qui se produisent encore aujourd'hui.

Les terrains d'origine ignée se distinguent par leur structure massive, cristalline ou subcristalline, et par les actions qu'ils ont souvent produites au contact des roches entre lesquelles ils sont venus s'intercaler à l'état de roches fondues ; enfin leur caractère essentiel est l'absence de véritable stratification.

Les terrains d'origine aqueuse, formés principalement (mais non uniquement, comme nous le disons plus loin) de détritus plus ou moins roulés par les eaux, dont les éléments ont les dimensions les plus variables, constituent des séries de *couches*, ou *assises*, d'argiles ou de schistes, de sables ou de grès, de poudingues plus ou moins agglomérés, etc., etc., dont le caractère essentiel est au contraire d'être stratifiés, par suite de la tendance qu'ont les eaux agitées à niveler constamment leur fond.

(8) Ces divers terrains, ignés ou sédimentaires, ont été en général plus ou moins dérangés de leur position primitive par les actions mécaniques dont nous avons parlé. On peut même dire que tel est le cas habituel, et en quelque sorte normal des terrains sédimentaires que nous pouvons observer à la surface du sol, puisque, ces terrains s'étant essentiellement formés *sous l'eau*, tandis que nous les observons *hors de l'eau*, il y a pour ainsi dire *présomption* qu'ils ne sont plus en place et qu'ils ont été plus ou moins relevés.

Ces changements de niveau se sont produits sur la plus grande échelle, puisqu'on trouve des terrains stratifiés avec des coquilles marines jusqu'aux sommets des plus hautes montagnes. Une conséquence de ces soulèvements qui n'avait pas échappé aux premières observations des géologues, a dû être la production d'un certain nombre de cassures affectant, soit les roches ignées, soit les roches sédimentaires ; cassures subordonnées suivant les cas, soit à un centre, soit, plus souvent, à un axe de soulèvement. Ces cassures ou fentes, provenant de ce que les divers points d'un terrain donné

Digitized by Google

ont été sollicités par des forces de soulèvement inégales, sont généralement accompagnées de dénivellations qui font que, sur les deux parois de la cassure, les points qui coïncidaient avant la production de cette cassure, cessent d'être en regard l'un de l'autre.

Le plus souvent ces cassures sont simplement remplies par des débris de roches encaissantes ; elles reçoivent alors les noms de *failles*, de *rejets* ou de *crains*. . .

Mais comme elles ont été produites par des forces venant de l'intérieur de la terre, il peut se faire qu'elles aient traversé, au moment de leur formation, l'épaisseur totale de la croûte terrestre et qu'elles se soient trouvées ainsi mises en relation, par le bas, avec la masse interne de la terre encore à l'état de fluide. Cette masse a pu s'y injecter sous l'action de forces analogues à celles qui produisent les phénomènes volcaniques, et former ce qu'on appelle proprement *un dyke*. Ou bien exposée d'une manière plus ou moins directe et facile aux agents atmosphériques, cette même masse a pu donner lieu, au contact de l'eau et de l'air, à des réactions chimiques diverses, et par suite à la production de matières spéciales qui sont venues, soit à l'état de vapeur, soit à l'état de dissolution, se déposer dans les fentes ou même s'épancher jusqu'à la surface du sol, et dont la nature est essentiellement différente de celle des roches encaissantes.

Les sources thermales, que nous observons surtout dans les points du globe où la présence de semblables cassures est présumable, n'est que la représentation très-affaiblie de ces phénomènes d'épanchement qui avaient lieu lorsque les fentes venaient de s'ouvrir.

Ces sources étaient alors beaucoup plus minéralisées qu'aujourd'hui, et cette minéralisation reparaîtrait sans doute, si ces fentes se rouvraient, ou s'il s'en produisait de nouvelles.

(9) Acceptant ce qui précède comme une conséquence naturelle, presque nécessaire, et en tous cas d'accord avec l'ensemble des observations, de l'hypothèse fondamentale faite sur l'état primitif du globe, nous sommes en mesure de définir ce qu'on appelle *un filon* et ce qu'on appelle *une couche*.

*Un filon*, c'est une de ces fentes ou cassures produites dans un

Digitized by Google

terrain (qu'il soit igné ou sédimentaire) par les ruptures d'équilibre auxquelles l'écorce du globe a été périodiquement exposée, et remplie, au moment même de sa production, ou bien postérieurement, par des matières spéciales venues de l'intérieur de la terre, soit à l'état de matière fondue injectée, soit à l'état de sublimation ou de dissolution.

*Une couche*, c'est une des assises d'un terrain sédimentaire donné, produite soit par la sédimentation simple, soit, en outre, par quelque phénomène spécial, mais essentiellement contemporain du terrain dans lequel on la trouve encaissée, c'est-à-dire une assise postérieure à l'assise sous-jacente et antérieure à l'assise qui la recouvre.

Au point de vue purement géométrique, c'est-à-dire en ne considérant que sa forme, un filon, *s'il est dans sa position primitive*, est une sorte de grande lentille ayant deux dimensions en quelque sorte indéfinies relativement à la troisième, et plus ou moins rapprochée de la verticale. Au même point de vue, une couche, si elle est, comme le filon, dans sa position primitive ou dans une position approchée, présente la même forme générale d'une grande lentille, avec cette différence qu'elle est placée horizontalement. Elle a, ou peut avoir, dans le sens horizontal l'étendue même du terrain sédimentaire dont elle fait partie, et dans le sens vertical une dimension limitée.

*Un amas* est un gisement qui, par son origine, se rapproche plus ou moins nettement ou d'un filon ou d'une couche, mais qui en diffère en ce qu'il ne satisfait pas à la définition géométrique qui vient d'être donnée, celle d'une masse lenticulaire ayant deux dimensions très-grandes, et comme indéfinies relativement à la troisième. La masse est postérieure au terrain encaissant dans le cas d'un filon, elle est contemporaine dans le cas d'une couche.

Ces définitions générales ont besoin d'être complétées, pour arriver à donner une idée suffisamment précise de ces divers genres de gîtes.

**(10)** Disons d'abord quels sont les éléments au moyen desquels on définit leur allure, et leur disposition dans le sein de la terre.

Assimilant les filons et les couches à des espèces de grandes len-

Digitized by Google

tilles qui traversent *indifféremment* les terrains ignés et les terrains sédimentaires, s'il s'agit de filons, ou qui sont *nécessairement* dans un terrain sédimentaire et parallèles à la stratification, s'il s'agit de couches, nous distinguons dans chacun de ces gîtes : le *toit*, le *mur*, la *puissance*, l'*affleurement*, le *chef* ou la *tête*, la *direction* et l'*inclinaison*.

Le *toit* et le *mur* sont les surfaces géométriques qui séparent le gîte des terrains dans lesquels il est encaissé ; le toit est la surface supérieure au gîte, le mur la surface sur laquelle il repose. Ces mots de toit et de mur s'appliquent aussi aux roches mêmes qui se trouvent directement au-dessus ou au-dessous du gîte. C'est dans ce sens qu'on dira, par exemple, qu'une couche a *un bon* ou *un mauvais toit*, selon que ces roches sont solides, ou qu'elles ont besoin d'être soutenues par des boisages.

Le toit et le mur prennent le nom collectif d'épontes, lorsqu'il s'agit d'un filon ; ce nom n'est pas en usage pour les couches, mais il pourrait être d'un emploi commode pour abréger le discours.

On remarquera que lorsqu'une portion de couche a été soulevée de plus de 90° (ce dont on a de fréquents exemples) et qu'elle est ainsi dans une position renversée, le toit prend la place du mur et inversement. On devra donc dire, en parlant du toit ou du mur d'une telle portion de couche, si on la prend dans sa position actuelle, ou si l'on a égard à son renversement ; il conviendra généralement de s'exprimer dans cette seconde hypothèse, c'est-à-dire de parler du *vrai toit* et du *vrai mur* de la couche.

*La puissance* n'est autre chose que l'épaisseur, c'est-à-dire, en un point donné, la distance du toit au mur, mesurée normalement à ces surfaces considérées, sur une petite étendue, comme des surfaces planes parallèles.

*L'affleurement* est la suite des points par lesquels le gîte se présente à la surface du sol.

*Le chef ou la tête* est un affleurement recouvert, postérieurement à la formation du gîte, par un terrain plus moderne. Ce mot est particulièrement usité dans les houillères du Nord et du Pas-de-Calais, où le terrain houiller est recouvert par des terrains stériles, ou *morts-terrains*, appartenant aux terrains crétacés.

Digitized by Google

Assimilant par la pensée un gisement quelconque, une couche de houille, par exemple, à une simple surface se confondant sensiblement avec celle du toit ou celle du mur, on dira *géométriquement* que l'affleurement d'un tel gisement est son intersection avec la surface du sol, et que son chef ou sa tête est son intersection avec la base du terrain stérile qui le recouvre.

*La direction* d'une couche ou d'un filon, dans le même ordre d'idées géométriques, s'obtiendra en coupant la surface du gîte par un plan horizontal, et considérant la tangente à la courbe d'intersection (*fig.* 1).

*L'inclinaison* s'obtiendra en coupant le gîte par un plan vertical perpendiculaire à la direction, et considérant la tangente à la courbe d'intersection.

Ces deux définitions peuvent être comprises dans un seul énoncé, en disant que l'on considère, en un point donné du gîte, *le plan tangent à sa surface*, et qu'on prend l'horizontale de ce plan tangent pour la direction du gîte en ce point, et pour son inclinaison l'angle que fait la ligne de plus grande pente de ce plan avec le plan horizontal.

L'orientation de la ligne de direction est donnée par l'angle qu'elle fait, soit avec le méridien vrai, soit avec le méridien magnétique. On prend habituellement l'origine des angles du côté du nord, et il est clair que pour représenter une direction quelconque il suffit de faire venir cet angle de 0 à 90°, si on le prend indifféremment à l'ouest ou à l'est du méridien. On le fera varier de 0 à 180°, si, selon l'usage, on ne le compte que d'un seul côté, du nord vers le sud en passant vers l'est.

On définit numériquement la grandeur de l'inclinaison par l'angle aigu que le plan tangent au gîte fait avec le plan horizontal; mais, pour en définir en outre le sens, on convient de prendre l'inclinaison en descendant, et on la représente graphiquement par une flèche perpendiculaire à la direction, dont la pointe est supposée dirigée vers le bas.

On comprend que l'on peut, par une notation unique, définir à la fois l'inclinaison et la direction, en convenant de mesurer l'angle que fait cette flèche, considérée dans le sens de la pointe, avec la ligne NS, cet angle pouvant varier de 0 à 360°.

Digitized by Google

Ainsi un gîte dontd la irection ferait, par exemple, un angle de 35° vers l'est avec la ligne NS, et qui plongerait à l'ouest sous un angle $\alpha$, pourrait être défini complétement, quant à son orientation, en disant qu'il a une inclinaison $\alpha$ orientée sur l'angle de $270 + 35 = 305°$, ou graphiquement en traçant une ligne $P'_1P_1$ perpendiculaire à la direction MM', marquant par une flèche le sens de la plongée de cette ligne, et indiquant la valeur de son inclinaison $\alpha$ (voir fig. 1 et fig. 2).

En considérant les divers éléments ci-dessus dans leur ensemble, on dit qu'une couche ou un filon a une allure *réglée*, ou *bien réglée*, lorsque ces éléments ne varient pas, ou ne varient que très-graduellement d'un point à un autre du gîte. L'allure est *dérangée* ou *mal réglée*, quand les variations sont brusques ou irrégulières.

Ces notions posées, revenons aux gîtes dont nous avons actuellement les moyens d'obtenir la définition géométrique complète.

(**11**) Nous parlerons d'abord des couches.

Une couche est, en principe, une des assises d'un terrain sédimentaire donné.

Si elle est purement et simplement le produit de la sédimentation, c'est-à-dire si ses éléments sont formés de détritus charriés par les eaux, elle constituera, avons-nous dit, une couche de schiste ou d'argile, de sable ou de grès, ou de poudingues plus ou moins résistants, suivant la grosseur de ces éléments et suivant leur état d'agrégation. Ces couches alterneront un nombre de fois plus ou moins grand sur la hauteur du terrain, ces alternances s'étant produites lors du dépôt à mesure que les circonstances dans lesquelles il s'effectuait se seront modifiées. Mais en principe, à cause de l'action incessante des eaux agitées pour niveler leur fond, chaque couche ne variera d'épaisseur que très-graduellement d'un point à un autre, et sera terminée, dans son état primitif, par une surface sensiblement plane et horizontale.

Les argiles, les schistes, les ardoises, les grès, beaucoup de matériaux de construction sont dus à cette action sédimentaire simple. Leur consistance actuelle peut être due à l'action prolongée de

Digitized by Google

la pression à laquelle ils ont été soumis, ou à des phénomènes de métamorphisme.

Mais il est arrivé souvent aussi, que l'action sédimentaire s'est combinée avec certains phénomènes chimiques ou physiques de précipitation, d'évaporation ou de concentration, qui s'expliquent soit par la présence de sources minérales d'une composition plus ou moins complexe venant jaillir au fond des lacs où s'opérait la sédimentation, soit par des changements dans le relief du sol amenant ce résultat qu'un tel lac cessait de recevoir une quantité d'eau suffisante pour compenser les effets de l'évaporation.

C'est ainsi que s'expliquent, par exemple, la dureté de certaines roches primitivement arénacées et agglutinées par un ciment calcaire ou siliceux, la formation des couches de gypse des environs de Paris, les gisements de soufre de Sicile, les couches de minerai de fer intercalées dans tant de terrains, les schistes cuivreux du pays de Mansfeld, les couches de sel gemme de la Meurthe, etc., etc.

(**12**) Les actions organiques, soit du règne végétal, soit du règne animal, sont aussi fréquemment intervenues, et ont joué un rôle important.

C'est ainsi notamment que se sont formées les couches de combustible minéral dont l'exploitation a aujourd'hui un rôle industriel si considérable.

On doit concevoir une couche de cette nature comme formée dans des circonstances plus ou moins analogues à celles qui, encore aujourd'hui, produisent les tourbières. C'est-à-dire qu'une telle couche s'est formée dans un bassin, ou dans un golfe, par une accumulation de détritus de végétaux ayant vécu sur place, à un moment où le bassin ou le golfe avait été à peu près remblayé par les sédiments et constituait une sorte de marécage, ayant la profondeur d'eau très-faible sous laquelle la végétation pouvait s'établir. Le niveau des eaux venant à changer après une période de végétation plus ou moins longue, la sédimentation simple pouvait recommencer; puis la végétation se rétablissait encore, lorsque le bassin était de nouveau comblé, et ainsi de suite.

Les circonstances propres à la production des couches de combus-

Digitized by Google

tible minéral ont pu se réaliser et se sont effectivement réalisées à diverses époques. On peut même dire qu'elles subsistent encore de nos jours.

Mais à aucune époque, elles ne semblent avoir réuni des conditions aussi favorables que lorsque le *terrain houiller* proprement dit s'est déposé.

A ce moment privilégié de l'histoire de la terre, la température était plus élevée et moins variable que de nos jours, l'atmosphère, probablement plus riche en acide carbonique et assurément chargée d'une quantité de vapeur d'eau beaucoup plus grande ; ensemble de circonstances qui devait avoir pour résultat une puissance de végétation et des phénomènes météoriques dont les contrées tropicales ne peuvent aujourd'hui nous donner qu'une idée très-affaiblie. On explique ainsi à la fois l'énorme accumulation de matière végétale et l'énorme épaisseur de sédiment que nous présentent les grands bassins houillers, tels que ceux de la Belgique et du nord de la France, de la Westphalie, de l'Angleterre, de l'Amérique du Nord, etc., etc.

La transformation de la matière organique en houille ayant les caractères extérieurs et les propriétés combustibles que nous observons aujourd'hui, s'explique par une altération lente due aux circonstances de pression prolongée et de température croissante auxquels une couche donnée s'est trouvée soumise, à mesure que les dépôts sédimentaires ou de nouvelles couches de combustible s'accumulaient au-dessus d'elle.

Enfin, il reste à expliquer le nombre de couches de houille *souvent très-considérable* que présente un grand bassin. (On en compte environ 140 à Mons, en y comprenant les couches que leur trop faible épaisseur ne permet pas d'exploiter et qu'on nomme des *passées* ; on en compte au moins autant, et avec une puissance moyenne plus grande, dans le bassin de la Ruhr.)

Pour expliquer ces nombreuses récurrences, il faut se représenter que l'écorce du globe n'avait pas alors une très-grande épaisseur ; qu'elle devait être par conséquent beaucoup moins solide qu'aujourd'hui, et plus souvent soumise à ces mouvements d'oscillation que nous pouvons encore constater de nos jours ; que d'ailleurs sous le seul poids croissant d'une grande épaisseur de sédiments, cette



Digitized by Google

croûte pouvait fléchir et le bassin s'approfondir en se rétrécissant; de telle sorte qu'une série de couches se déposassent successivement sous une épaisseur d'eau variable entre certaines limites, le niveau de l'eau du bassin restant cependant constant.

Telle est l'idée à laquelle on doit se rattacher, quant à l'origine des bassins houillers; elle explique mieux que d'autres hypothèses, ou plutôt elle est la seule qui explique d'une manière satisfaisante les détails de la structure des couches, la quantité généralement assez faible de matière terreuse d'origine sédimentaire qui se trouve mêlée à la matière charbonneuse, et la différence de qualité que présentent en général les couches, selon leur âge dans le même bassin, ou selon l'âge de ce bassin, en passant de la qualité anthraciteuse, pour les couches les plus basses, à la qualité de lignite présentant encore plus ou moins la structure végétale, pour les couches les plus hautes des formations les plus récentes.

Cette explication, en termes généraux, suffit amplement pour le mineur, et si elle ne satisfait pas entièrement ou le chimiste, ou le minéralogiste, ou le géologue, en ce sens qu'elle ne rend pas compte encore, dans le dernier détail, de tous les faits observés, on ne doit pas perdre de vue que dans le laboratoire où la nature opère, elle agit sur *des masses*, et en faisant intervenir les *pressions* et le *temps* sur une échelle immense; circonstances qui peuvent changer entièrement le jeu des affinités que nous observons dans nos expériences.

(**13**) Les actions organiques du règne animal sont moins importantes pour nous, au point de vue industriel, que celles du règne végétal; elles ont joué cependant un certain rôle, quelquefois un rôle prédominant. dans la formation de certaines assises des terrains sédimentaires. Beaucoup de couches calcaires sont formées en grande partie de débris de coquilles. Quelques formations puissantes sont même presque exclusivement composées (comme la craie) d'une accumulation immense de petites coquilles microscopiques; ce mécanisme fonctionne encore de nos jours au fond des mers profondes, en des points où l'énormité de la pression et l'absence de lumière sembleraient devoir être des circonstances exclusives des phénomènes de la vie animale.

Digitized by Google

(14) En résumant ce qui précède (numéros 11 à 13), nous dirons qu'une couche est un dépôt mécanique, un précipité chimique, ou un résidu d'évaporation, ou encore une accumulation de matière organique soit du règne végétal, soit du règne animal, ou souvent enfin un ensemble complexe dû à l'intervention simultanée, plus ou moins importante, de plusieurs de ces divers modes de formation. Elle est intercalée dans un terrain de sédiment, sa forme initiale est celle d'une grande lentille horizontale, variant d'épaisseur d'une manière insensible en passant d'un point à un autre; elle a été essentiellement formée sous l'eau ; sa formation est postérieure à celle de l'assise qui forme son mur, antérieure à celle de son toit. Telle serait la définition très-simple qui pourrait être donnée du mode de formation et de la manière d'être d'une couche, si d'une part, elle s'était formée avec une régularité théorique, et si d'autre part, elle était restée dans sa position primitive.

Mais il n'en est point ainsi généralement, et sans entrer ici dans de trop longs détails qui empiéteraient sur le domaine du minéralogiste et du géologue, nous devons considérer les divers *accidents* qui peuvent se présenter au mineur, à la rencontre desquels il doit être préparé, et dont il doit savoir apprécier la signification et la valeur.

Nous considérerons successivement :

Ceux de ces accidents que l'on peut considérer comme contemporains de la formation même de la couche ; ceux qui sont postérieurs à cette formation, mais qui affectent principalement, ou exclusivement, la couche même, ou qui du moins n'ont besoin d'être considérés qu'au point de vue de cette couche; enfin ceux qui étant postérieurs à la formation du terrain sédimentaire dans lequel la couche est encaissée, affectent l'ensemble de ce terrain.

(15) **Accidents contemporains de la formation d'une couche.** — Ces accidents ont pour caractère commun de ne se présenter que très-graduellement, d'une manière en quelque sorte insensible, la régularité et la continuité étant, en principe, ainsi que nous l'avons déjà dit, les caractères d'un dépôt formé au fond des eaux.

Digitized by Google

Ces accidents sont, en premier lieu, *les changements de puissance*, et en second lieu *les changements de nature*.

*Un changement de puissance*, qui est réellement contemporain du dépôt, doit en général se manifester assez graduellement pour être en quelque sorte insensible à l'œil dans un chantier, c'est-à-dire pour ne pas altérer d'une manière appréciable, sur une étendue de quelques mètres, le parallélisme du toit et du mur.

Telle couche de houille, après avoir eu une puissance de 1 mètre et plus dans une région d'un bassin houiller, s'amincira progressivement dans une autre région à $0^m,60$, $0^m,50$, $0^m,40$ et au-dessous, de manière à y devenir inexploitable, ou même à y disparaître entièrement. Telle autre, au contraire, pourra conserver une puissance à peu près uniforme et être exploitable dans toute l'étendue du bassin. On peut dire cependant en général que dans un bassin étendu, sur les divers points duquel les dépôts contemporains ont pu se trouver dans des conditions très-différentes, il n'y a point de raison à priori pour qu'une couche donnée se soit développée uniformément sur toute l'étendue de la formation, et un tel développement est l'exception plutôt que la règle.

*Les changements de nature* contemporains du dépôt de la couche pourront se présenter dans des circonstances variées, ayant habituellement pour caractère commun (comme les changements de puissance) de ne se manifester que graduellement. Une couche de minerai de fer, par l'augmentation dans la proportion de la matière purement sédimentaire, deviendra une simple couche de grès ferrugineux ; une couche de houille, pure en un point, se chargera progressivement de matières terreuses, soit uniformément disséminées, soit concentrées dans des lits distincts intercalés entre les filets de houille, et se changera ainsi peu à peu en une couche de schiste plus ou moins charbonneux.

On dit qu'une couche *se barre*, si, en conservant plus ou moins son épaisseur, elle présente ainsi une succession distincte de petits lits de houille et de schiste intercalés (*fig.* 3) ; on dit qu'elle *se bifurque*, si l'un de ces lits de schiste, ou *nerfs*, prend de l'importance au point de faire d'une seule couche deux couches distinctes devant être exploitées séparément (*fig.* 4).

Digitized by Google

Une couche de houille peut encore se charger, non pas de matières sédimentaires, mais de matières ferrugineuses, à l'état de fer carbonaté lithoïde, si pendant qu'elle était pleinement établie sur un point du bassin, la végétation a été, sur un autre point, plus ou moins contrariée par des sources minérales laissant déposer, par exemple, du peroxyde de fer, qui au contact des matières organiques sera passé au minimum d'oxydation et se sera combiné avec l'acide carbonique.

Cette couche sera donc en un point une couche de *houille*, et plus loin une couche de *minerai de fer carbonaté lithoïde* plus ou moins chargé d'éléments charbonneux.

(**16**) **Accidents postérieurs propres à la couche.** — Ces accidents pourront être encore des changements de puissance et de nature ; mais ils se présenteront avec un caractère essentiellement différent de ceux dont nous venons de parler.

Les changements de puissance proviendront de ce que dans les mouvements auxquels le terrain entier aura été soumis postérieurement à son dépôt, ses diverses assises auront été soumises à des efforts de compression variant d'un point à un autre. Si la masse formant le gîte que l'on considère était encore, à ce moment, plus ou moins douée de plasticité, elle pourra ne plus présenter aujourd'hui qu'une série de renflements et d'étranglements constituant la structure en *chapelet ;* les *renflements*, *coufflées*, ou *bouillards*, pouvant avoir d'ailleurs toute espèce de dimension, et les étranglements qui les séparent pouvant aller jusqu'à une disparition complète de la couche pendant un certain nombre de mètres. Ces variations de puissance se font assez rapidement en général, pour affecter d'une manière visible le parallélisme du toit et du mur (*fig.* 5).

Si les assises supérieures ou inférieures n'ont pas eu le même degré de plasticité que le gîte, ces assises ont pu se fracturer tandis que le gîte ne faisait que se renfler ou s'étirer, et alors on peut voir des angles saillants de ces rochers pénétrer dans la masse, celle-ci s'infiltrer en quelque sorte dans les moindres fissures et le système présenter une disposition tout à fait anormale et irrégulière qu'on appelle *un brouillage* (*fig.* 6). Il arrive qu'une couche est *réglée* lors-

Digitized by Google

qu'elle est orientée d'une certaine façon dans le terrain, et *brouillée*, au contraire, dans une autre orientation.

Les changements de puissance se présentent encore aux environs d'une de ces cassures dont nous avons dit que les mouvements du sol avaient été généralement accompagnés. Ces ruptures ayant eu lieu le plus souvent avec dénivellation, on conçoit que dans le glissement l'une sur l'autre des deux parois de la cassure, il se soit développé des frottements considérables qui ont pu plier les assises du terrain en sens contraire de leur glissement relatif, et soumettre celles dont la plasticité le comportait à une sorte d'étirage analogue à celui que l'on observe entre deux coufflées. Il peut y avoir ainsi toute espèce de nuance, selon la nature des roches, entre une cassure nette et franche et un simple plissement ou étirement des assises dans le plan suivant lequel la cassure a tendu à se produire (*fig.* 7 à 9).

Un autre changement de puissance peut encore se présenter dans d'autres conditions, lorsque le dépôt d'une couche a été accompagné ou suivi immédiatement d'un ravinement partiel précédant le dépôt de la couche supérieure. On distingue cette circonstance à ce que l'assise inférieure à la couche est réglée, et que celle-ci l'est également, *dans ses bancs inférieurs*, tandis que les *bancs supérieurs* seuls sont d'épaisseur inégale, ou même discontinus. Un tel accident constitue ce qu'on appelle un *défaut de masse*, dans les carrières de plâtre des environs de Paris, où il est assez fréquent (voir *fig.* 10).

Les changements de nature postérieurs au dépôt sont amenés par des circonstances qui ont pu exposer certaines parties de la couche à des influences spéciales.

Ainsi une couche, au voisinage de ses affleurements ou de son chef, sera ou aura été soumise aux agents atmosphériques, dont l'action prolongée se traduira en général par la désagrégation de la masse et son oxydation plus ou moins complète. Ainsi une couche de houille deviendra friable et irisée, et ne donnera plus que du menu en se rapprochant de l'affleurement, et à l'affleurement même une couche, même puissante, pourra n'être plus accusée que par une faible épaisseur de terre noirâtre, la majeure partie de la matière charbonneuse ayant été enlevée par une sorte de combustion lente.

Digitized by Google

Le voisinage d'une faille communiquant au jour et pouvant ainsi donner accès aux agens atmosphériques, pourra donner lieu aux mêmes altérations que le voisinage des affleurements (*fig.* 11 et 11 *bis*).

D'un autre côté, si cette faille, à certaines époques, a été remplie par des dissolutions ou par des gaz susceptibles d'agir chimiquement, les altérations pourront présenter d'autres caractères; on verra, par exemple, du minerai de fer se charger de pyrites au voisinage d'une faille ayant donné lieu à des émanations sulfureuses.

Si cette même faille a été injectée de matières venues à l'état de fusion ignée, on verra les roches se durcir et comme se fritter à son approche, la houille prendre un aspect particulier, et se changer en une sorte de coke dense dépourvu de matières volatiles, etc., etc.

(**17**) **Accidents postérieurs affectant l'ensemble du terrain.** — Ces accidents sont les conséquences des ruptures d'équilibre auxquelles la croûte terrestre a été périodiquement soumise.

On peut distinguer les replis ou les contournements des couches, les failles ou les changements de niveau, les interruptions ou suppressions locales.

Ces trois genres d'accidents doivent être définis avec précision.

*Pour les replis et contournements des couches*, on peut penser *à priori*, et l'observation le confirme, que la manière la plus simple dont l'écorce terrestre aura dû se fendre à un moment donné, sous la réaction des masses intérieures comprimées par elle, ou, au contraire, se plisser pour suivre le retrait de ces mêmes masses, doit avoir été suivant une ligne droite, ou, plus correctement, suivant un arc de grand cercle de la sphère terrestre.

Dans le premier cas, les terrains auront été refoulés à droite et à gauche par l'éruption des roches ignées, et elles auront formé de chaque côté une série de replis, ou de bourrelets, analogues aux plissements indiqués dans le second cas.

La disposition normale, en quelque sorte, des terrains sédimentaires au voisinage d'un axe de rupture d'équilibre, est donc de former une série plus ou moins nette d'ondulations présentant alter-

Digitized by Google

nativement ce qu'on appelle des selles et des fonds de bateau. Les couches sont ainsi relevées et contournées d'autant plus violemment qu'on se rapproche davantage de l'axe de rupture, où elles peuvent atteindre ou même parfois dépasser la position verticale.

Ces redressements vont, au contraire, en diminuant d'importance à mesure qu'on s'éloigne de l'axe, et ne s'accusent plus, à une distance suffisante, que par de faibles ondulations ou redressements.

On peut dire, d'après cela, que l'allure normale d'une couche n'est plus d'être horizontale ; mais bien de former, tantôt une surface très-légèrement inclinée ou ondulée, lorsqu'elle est suffisamment éloignée de l'axe où s'est produite la rupture d'équilibre à laquelle elle doit sa position actuelle, tantôt une surface extrêmement ondulée, dont, en considérant les choses en grand, les plis sont orientés parallèlement à cet axe.

Les contournements dont il s'agit se présentent avec des caractères variés.

Tantôt ce sont de simples ondulations qui se succèdent, tournant alternativement leur concavité vers le haut et le bas ; une coupe verticale perpendiculaire à la direction donne des espèces de *sinusoïdes* ayant des inclinaisons plus ou moins fortes à leurs points d'inflexion (*fig.* 12).

Tantôt les couches affectent des profils plus ou moins brisés dont les divers éléments présentent des inclinaisons variables allant de 0 à 90° et dépassant même la verticale. Ces parties renversées se nomment *des droits* ou *dressants;* celles dans lesquelles le toit et le mur sont à leurs places se nomment des *plats* ou *plateurs ;* le coude qui raccorde un dressant et un plateur, coude souvent très-aigu, se nomme un *crochon.*

Une même couche peut présenter une série de dressants et de plateurs successifs, tellement placés qu'un puits vertical donné la rencontre en plus de deux points (*fig.* 13).

Il arrive que les axes des selles et des fonds de bateau, ou que les crochons qui, considérés en grand, sont parallèles à la direction générale des couches, oscillent en réalité autour de cette direction ; de sorte qu'en les suivant sur la longueur du bassin, on leur reconnaît une petite inclinaison tantôt montante, tantôt descendante, qui se

Digitized by Google

nomme *leur ennoyage*. L'ennoyage n'est pas exactement le même en un point du bassin pour les divers crochons, notamment pour les deux crochons qui limitent un dressant donné ; il en résulte que le nombre des dressants n'est pas partout le même, et que sur une plateur donnée que l'on suit en direction, on peut voir naître un dressant qui la divise en deux plateurs distinctes, ce dressant se développer par la divergence du crochon d'amont et du crochon d'aval, et disparaître plus loin par la convergence de ces mêmes crochons.

Ces allures, avec lesquelles il faut que l'ingénieur d'une mine se familiarise complétement, donnent lieu, dans la représentation graphique des travaux, à des apparences bizarres et compliquées sur lesquelles nous reviendrons plus loin.

*Les failles et les changements de niveau* sont une conséquence naturelle, on pourrait dire nécessaire, de ces replis et de ces contournements. On doit concevoir, en restant dans le même ordre d'idées générales, que les ruptures ont tendance à se produire dans deux directions principales : l'une parallèle à l'axe, provenant de ce que les forces qui déterminent la rupture d'équilibre sont distribuées le long de cet axe, l'autre perpendiculairement à ce même axe, provenant de ce que ces forces n'agissent pas en tous les points de cet axe avec une égale intensité.

Il pourra d'ailleurs y avoir plus de deux directions de fractures dans un district donné ; mais il ne sera pas impossible, en général, de coordonner leurs directions diverses à celles d'axes de rupture plus ou moins éloignées.

Enfin *les interruptions, ou suppressions locales*, seront une conséquence naturelle, d'une part, de la production de ces fissures qui ont été généralement accompagnées de dénivellations plus ou moins importantes, et de l'autre des érosions énormes auxquelles on reconnaît que beaucoup de terrains ont été exposés. C'est ainsi qu'on voit souvent des bassins houillers, dans lesquels les couches sont accidentées au plus haut degré (tels que ceux de la Belgique et du nord de la France, par exemple), ne plus présenter au jour aucune trace de cette structure compliquée, toutes les inégalités du sol ayant disparu, et ayant été comme rasées par des phénomènes diluviens.

Digitized by Google

Ces érosions jouent souvent un rôle très-considérable.

Tel gîte, autrefois continu sur de grandes étendues, peut aujourd'hui affecter un caractère sporadique, et n'être, en quelque sorte, représenté que par des *témoins* qui n'en laissent subsister que la moindre partie.

(**18**) Telles sont les circonstances principales que peut présenter l'allure d'un gisement en couches. Il y a loin, comme on voit, de la définition simple d'une couche, qui nous a servi de point de départ, au point où nous venons d'arriver.

A l'idée simple d'une grande lentille indéfinie dans le sens horizontal, présentant une épaisseur et une composition sensiblement uniformes, il faut substituer l'idée, plus générale et bien plus complexe, d'un gisement pouvant varier de puissance et de nature d'un point à un autre, soit par suite de phénomènes contemporains, soit par suite de phénomènes postérieurs ; d'un gisement compris entre des surfaces qui, au lieu d'être sensiblement planes et horizontales, peuvent être, et sont en général, au moins légèrement inclinées et souvent contournées et repliées sur elles-mêmes d'une manière très-compliquée ; d'un gisement qui, au lieu de former un tout continu, se trouve découpé ou morcelé par des systèmes de failles, en quelque sorte comme les cases d'un damier ; avec cette condition que ces diverses cases sont portées à des niveaux parfois très-différents, et que quelques-unes, parfois le plus grand nombre de ces cases, peuvent être supprimées, en totalité ou partiellement, par des phénomènes ultérieurs d'érosion.

On comprend quelle complication peut résulter de la coexistence et de la superposition, en quelque sorte, de tous ces accidents sur une couche donnée, et l'on conçoit que l'ingénieur des mines, pour s'y reconnaître, ait souvent besoin, non-seulement de connaissances théoriques générales, mais encore d'une grande expérience locale.

(**19**) Si nous passons actuellement aux filons, nous pourrons arriver à les définir rapidement, soit par les analogies, soit par les différences qu'ils présentent avec les couches ; analogies ou diffé-

Digitized by Google

rences qui sont en rapport avec le mode de formation de ces deux genres de gisements.

Nous avons dit (n° 9) qu'un filon était une fente, ou cassure, produite dans un terrain quelconque, par suite d'une rupture d'équilibre entre l'écorce terrestre et la masse fondue sous-jacente.

Cette cassure, due à des causes qui agissent à la base de l'écorce terrestre, tend à traverser cette écorce sur toute sa hauteur, et à être mise ainsi en relation plus ou moins directe et facile, d'un côté avec les agents atmosphériques, de l'autre avec la masse centrale.

Cette cassure reste d'ailleurs plus ou moins ouverte, soit parce que sa production a été immédiatement suivie d'une injection plus ou moins considérable d'une roche ignée (porphyrique ou autre), soit parce qu'elle n'est pas exactement suivant une surface plane, et qu'elle a été accompagnée généralement d'un déplacement relatif des deux côtés de la paroi, à la suite duquel les deux faces de la fissure cessent de pouvoir s'emboîter exactement (*fig.* 14).

Par cette ouverture ainsi plus ou moins béante, les matières fondues qui constituent la masse centrale ont pu pénétrer et s'injecter, sous l'influence de causes plus ou moins analogues à celles qui produisent encore de nos jours les éruptions des laves des volcans. A défaut de pareilles injections, ou à leur suite, cette masse a pu émettre des vapeurs diverses qui sont venues se déposer par refroidissement, en tapissant de cristaux les parois de la cassure. Les agents atmosphériques ont pu également pénétrer jusqu'à cette masse, et donner lieu à des réactions variées, et à des dissolutions plus ou moins complexes qui sont également venues déposer leurs matières, en formant ainsi des cristaux par voie humide.

On peut se représenter que ces différentes actions aient eu lieu successivement pendant une longue période de temps ; que la nature des sublimations ou des dissolutions ait changé avec le temps ; qu'il en soit résulté des effets de double décomposition qui expliquent la présence actuelle, dans les filons, de matières fixes et insolubles qui ne semblent pas avoir pu y arriver directement ; que d'ailleurs, ainsi qu'on l'a déjà dit, sous l'action combinée du temps et des hautes pressions les phénomènes chimiques ont pu être es-

Digitized by Google

sentiellement différents de ceux que nous pouvons observer dans les réactions, relativement instantanées, de nos laboratoires.

On devra encore se représenter qu'après une période plus ou moins longue, la cassure a fini par s'oblitérer, soit par le fait même du remplissage, soit par la solidification progressive de la masse qui se trouve à sa base. Toutefois cette cassure n'en reste pas moins dans la roche *une section de moindre résistance*, qui pourra se rouvrir facilement, si l'équilibre vient de nouveau à être rompu, soit dans le voisinage immédiat, soit même à une distance plus ou moins éloignée ; réouverture à la suite de laquelle les mêmes phénomènes de remplissage pourront se reproduire, mais en donnant lieu à des actions chimiques différentes.

On aura ainsi finalement un remplissage extrêmement complexe, dans lequel des observations attentives et répétées pourront faire reconnaître, non-seulement l'ordre d'arrivée des matières d'une période de remplissage, mais encore le nombre et l'âge relatif des différentes périodes.

Telle est en résumé la théorie que doit se faire le mineur sur la formation des filons. Sans prétendre encore expliquer tous les détails des phénomènes de remplissage (ce qui sera l'affaire du chimiste et du minéralogiste, et ce qui a été déjà abordé avec succès par MM. Berthier, de Senarmont, Ebelmen, Daubrée, etc.), cette théorie suffit amplement, dans les termes généraux où elle se tient, pour guider le mineur dans ses travaux, et pour le préparer aux diverses circonstances d'allure que l'exploitation d'un filon peut lui présenter.

Nous allons entrer dans quelque détail sur ces circonstances, en supposant qu'il s'agisse de filons bien caractérisés, remplis principalement par voie de sublimation ou de dissolution.

(**20**) **Structure des filons.** — Les filons dont il s'agit diffèrent essentiellement des couches par la structure. On peut bien observer, dans l'une comme dans l'autre espèce de gisement, une subdivision en zones plus ou moins parallèles au toit et au mur ; mais dans les filons ce parallélisme est beaucoup moins net, et les zones n'ont pas la même régularité ou continuité.

Digitized by Google

Ces zones sont cristallines ou au moins subcristallines; elles sont formées de matières spéciales, essentiellement distinctes de celles que renferment les roches encaissantes. Elles ont une certaine tendance à se répéter symétriquement à partir des deux épontes du filon. Parfois la partie centrale du filon est restée vide par places, et forme ce qu'on appelle des *poches*, ou des *druses*, dont la paroi est tapissée par les pointes des cristaux de la dernière zone qui s'y est déposée (*fig.* 15).

Lorsque l'intérieur du filon présente des fragments de la roche encaissante, ou des fragments d'un premier remplissage brisé par la réouverture du filon, la même disposition zonaire ou rubannée se reproduit en général autour de ces divers fragments (*fig.* 16).

On distingue dans un filon :

1° Le *remplissage* proprement dit, qui est formé par les fragments de la roche encaissante ;

2° Les *gangues*, ou *matières stériles ;*

3° Les *minerais*, ou *matières utiles.*

Les gangues et les minerais ont la même origine, et leur distinction n'a rien d'absolu ; de la blende, par exemple, est une gangue dans un filon qu'on n'exploitera que pour plomb ; ce sera *du minerai*, si l'on exploite en outre pour zinc ; ce sera *le minerai*, s'il n'y a pas d'autre matière métallique exploitée.

De la chaux fluatée est habituellement une gangue dans un filon de cuivre ou d'étain. C'est au contraire la partie utile dans quelques cas.

Quant au remplissage proprement dit, il est quelquefois très-faible ; d'autres fois il constitue la masse principale du filon. La proportion du remplissage dépend principalement de la nature plus ou moins ébouleuse de la roche encaissante. Avec une roche très-dure, le filon sera, comme on dit, *bien rassemblé*, et ne contiendra guère que des gangues et des minerais ; avec une roche ébouleuse ou friable, la cassure se sera partiellement remblayée par les éboulements du toit, et le filon sera *ramifié* ou *disséminé.*

On peut avoir ainsi toute espèce de degré intermédiaire, entre un filon réduit à une cassure unique, franche et nette (*fig.* 17), et une sorte de brèche occupant une zone plus ou moins puissante, dont on

Digitized by Google

peut dire que les noyaux sont des fragments de la roche encaissante, et dont la pâte est formée par les gangues et les minerais qui se ramifient dans les intervalles entre ces fragments (*fig.* 18).

On distingue encore dans un filon les *salbandes*, matières de consistance argileuse, provenant de l'altération de la roche encaissante, soit qu'elle ait été broyée par suite de l'énorme frottement qui a accompagné le mouvement relatif du toit sur le mur, et dont on retrouve souvent la trace dans les surfaces polies et régulièrement striées du toit et du mur ; soit qu'elle ait été attaquée plus ou moins profondément par les dissolutions qui sont venues déposer les gangues et les minerais.

Les salbandes n'existent pas toujours ; il arrive au contraire que les matières du filon adhèrent très-fortement à la roche encaissante, qui a conservé sa dureté. Mais quand elles existent, elles sont utiles au mineur pour *dépouiller* le filon, et rendre par là le travail de l'abattage plus facile, et en même temps la proportion des gros fragments plus considérable.

(**21**) **Variations de puissance.** — Dans une couche, la variation de puissance est *l'exception* (voir n° 15) ; dans un filon, c'est, en quelque sorte, *la règle*. Une fissure imparfaitement plane, accompagnée d'une dénivellation d'un des côtés par rapport à l'autre, donne lieu nécessairement (*fig.* 14) à un vide d'une épaisseur variable, et à une disposition qui, vue en grand, doit rappeler la structure en chapelet indiquée pour les couches comme une circonstance accidentelle.

Seulement, les variations de puissance surviendront moins rapidement pour les filons ; les parties, ou renflées, ou étranglées, se soutiendront plus longtemps, et l'on passera plus graduellement des unes aux autres.

Ce que nous venons de dire suppose le filon traversant une roche homogène, ou du moins partout à peu près inattaquable par les dissolutions acides qui l'ont rempli.

Si le filon traverse alternativement des roches inattaquables ou siliceuses, et des roches attaquables comme sont, par exemple, des roches calcaires, on aura des variations d'épaisseur d'une tout

Digitized by Google

autre origine ; le filon aura son épaisseur normale dans les roches inattaquables ; il se renflera dans les roches calcaires, si l'on suppose que les liquides aient pu ronger les épontes, et peut-être, en même temps, par suite de l'action de la chaux, précipiter les oxydes métalliques tenus en dissolution. On expliquera ainsi non-seulement les renflements accidentels que l'on rencontre quelquefois lorsqu'un filon pénètre dans des roches calcaires, mais encore les accumulations de richesse que ces renflements présentent souvent, la circonstance qui a produit *le renflement*, par la corrosion des épontes, ayant dû en même temps produire *l'enrichissement*, par la précipitation des oxydes métalliques. Ceux-ci d'ailleurs pourront être restés à leur état naturel, ou avoir été ultérieurement transformés par l'arrivée d'autres dissolutions ou par des dégagements de gaz, en sulfures, ou en autres corps.

(22) **Variations de richesse.** — La masse d'un filon n'est pas partout homogène, en ce sens que la proportion des diverses matières contenues n'est pas la même d'un point à un autre, ou, en d'autres termes, que la richesse utile, dans un chantier donné, n'est pas proportionnelle à la puissance du gîte.

On pourrait dire que ces variations de richesse se manifestent sans obéir, en général, à des lois bien définies. Le résultat le plus précis, ou, plutôt, *le moins vague* qu'on puisse énoncer à ce sujet, c'est qu'on observe une certaine tendance des parties riches à former des colonnes à peu près suivant la ligne de plus grande pente ; de sorte que si l'on considère plusieurs galeries d'allongement à des niveaux différents, les parties riches et les parties pauvres, sauf certains changements dans leurs étendues respectives, seront à peu près en correspondance.

Les diverses roches que le filon traverse paraissent aussi jouer un certain rôle, même quand aucune d'elles n'est attaquable et qu'elles ont à peu près la même composition moyenne en silice et en bases. Dans un district métallifère donné, telle roche est connue pour enrichir, telle autre roche pour appauvrir les filons qui y pénètrent. Souvent on ne peut attribuer cette influence qu'à des phénomènes thermo-électriques qui ont pu être en jeu pendant que

Digitized by Google

le dépôt se faisait. C'est une simple indication, et non, jusqu'à présent du moins, une explication précise. Il aura pu arriver aussi que les roches, selon la manière dont elles se cassent, auront ouvert et conservé une communication plus ou moins facile avec les émanations ou dissolutions venant de l'intérieur.

(**23**) **Variations de composition.** — Nous venons de dire que la richesse varie en marchant en direction dans un filon, et que l'on traverse alternativement des zones, ou colonnes riches, d'une certaine longueur, puis des zones plus ou moins complétement stériles, d'une longueur comparable et souvent plus grande.

En suivant sur la pente une de ces colonnes métallifères, on reconnaît souvent les variations suivantes :

D'abord il arrive, par un phénomène analogue à celui qui a été indiqué pour les couches de houille, que la colonne est pauvre au voisinage des affleurements, parce que les matières métalliques, sulfurées ou autres, soumises à l'action des agents atmosphériques, y ont été oxydées, et ont disparu à l'état de sels solubles, ne laissant souvent d'autre résidu qu'un dépôt ocreux plus ou moins abondant. Ce dépôt est assez fréquent et assez caractéristique pour avoir reçu un nom spécial de la part des mineurs. C'est ce qu'on appelle le *chapeau de fer* des filons.

Certains amas de minerai de fer ne sont ainsi que l'épanouissement et l'épanchement à la surface du sol de gisements qui, en profondeur, se chargent de plus en plus de soufre et deviennent des gisements de pyrites.

En dessous des affleurements, mais au-dessus du niveau général des vallées du pays, les agents atmosphériques auront pu encore agir quoique moins énergiquement. On trouvera associés à la galène le carbonate, le sulfate ou le phosphate de plomb; à la pyrite de cuivre, les carbonates verts du même métal; à la blende, la calamine, etc., etc. Ces associations de minerais oxydés avec des sulfures plus ou moins complexes sont ce que les mineurs de l'Amérique espagnole désignent sous le nom de *colorados*.

Enfin, au-dessous du niveau général des vallées se trouvent les minerais non altérés par les agents atmosphériques. Ceux-ci, sui-

Digitized by Google

vant les cas, se continuent sans altération dans leur composition moyenne jusqu'aux plus grandes profondeurs atteintes, ou bien, au contraire, changent progressivement de nature. On verra, par exemple, la galène s'enrichir ou s'appauvrir en argent; la blende remplacer peu à peu la galène; le minerai d'étain faire place à la pyrite cuivreuse, etc., etc.

Cette circonstance d'une variation de composition en profondeur est importante à noter; car s'il est vrai de dire que, par la manière même dont il est formé, un filon semble devoir s'étendre beaucoup en profondeur, on n'est pas autorisé à conclure, de ce qu'on a observé à un certain niveau, la richesse ni même la nature des minerais qu'on rencontrera à 150 ou 200 mètres plus bas.

On comprend, en effet, qu'à mesure que l'on descend sur le filon, on trouve des points où la pression, suivant la température, s'est exercée dans des conditions d'intensité rapidement croissantes, et a pu amener certaines différences dans les réactions chimiques.

(24) **Variations en direction et en inclinaison.** — En principe, le filon pouvant être assimilé à une sorte de grande lentille plane, les lignes d'inclinaison et de direction sont des lignes droites.

En pratique, on conçoit qu'il puisse en être tout autrement, si le terrain encaissant a été soumis, postérieurement à la formation du filon, aux causes perturbatrices qui produisent dans les couches les replis et contournements dont nous avons parlé (numéro 17).

Un filon, dans ces conditions, pourrait présenter une allure entièrement irrégulière, qui semblerait en désaccord complet avec l'origine qu'on doit lui attribuer.

Mais, en dehors de ce cas, lors même que les terrains encaissants n'ont éprouvé aucune perturbation importante et compliquée postérieurement à la formation du filon, on peut concevoir de diverses manières des déviations dans ses lignes d'inclinaison et de direction :

D'abord ces lignes ne sont pas rigoureusement rectilignes. On ne peut, *même dans un terrain entièrement homogène*, les regarder que comme des lignes légèrement ondulées se balançant autour d'une certaine inclinaison ou direction moyenne.



Digitized by Google

En second lieu, si cette homogénéité fait défaut, si l'on passe d'une roche dans une autre, d'une roche schisteuse, par exemple, dans une roche de grès, on peut s'attendre à ce que ces lignes subissent une certaine inflexion, les diverses roches ne tendant pas toutes à se casser identiquement de la même manière.

Enfin, si la fente tendant à se produire dans une orientation donnée, il existe dans la roche un joint de facile division à peu près parallèle à cette orientation, on doit concevoir que la fente se dévie, pour suivre le joint sur une certaine distance et reprendre plus loin sa véritable orientation propre.

Ce dernier résultat, qui se comprend bien, et que l'on peut facilement vérifier par les expériences les plus simples, conduit à des conséquences importantes.

Si ce joint de facile division est le sens de la stratification dans un terrain sédimentaire donné, le filon suivra la stratification même et prendra le nom de *filon-couche* (*fig.* 19).

Si sur l'ensemble de son parcours la circonstance se représente plusieurs fois, de telle sorte qu'alternativement il coupe les couches et se dévie parallèlement à elle, il prend le nom de *filon en escalier* (*fig.* 20), parce que la ligne de direction ou d'inclinaison semble dessiner une suite de marches.

Si le joint est la ligne de séparation de deux terrains, ignés ou sédimentaires, qui ne sont pas contemporains, et par suite ne sont, pour ainsi dire, que juxtaposés sans être soudés l'un à l'autre, le filon prendra le nom de *filon de contact* ou de *gîte de contact* (*fig.* 21).

Enfin, si le joint de division facile est un autre filon plus ancien, la déviation a lieu comme dans les cas précédents, et le filon plus moderne est dit *se traîner* dans le filon plus ancien.

(**25**) **Ramifications.**—Les bifurcations dans une couche sont une circonstance toute spéciale qui se produit, avons-nous vu, lorsque la couche venant à *se barrer*, l'un des nerfs prend graduellement une importance telle que les deux parties du gîte arrivent à constituer deux couches distinctes.

Ces bifurcations sont beaucoup plus fréquentes dans les filons, où elles prennent le nom de *ramifications*.

Digitized by Google

Ces ramifications peuvent être contemporaines de la formation de la cassure qui n'aura pas été parfaitement franche et nette ; elles peuvent lui être postérieures, si elles ne sont dues qu'à des éboulements sur le mur de gros fragments de la roche du toit.

A la première rencontre d'une telle ramification, le mineur peut éprouver quelque embarras, pour savoir quelle est la branche qui représente le filon principal et qu'il est préférable de suivre. On pourrait dire que c'est la branche dont la direction s'éloigne le moins de la direction moyenne du filon, ou encore que c'est la branche du mur plutôt que la branche du toit. Mais il pourrait se faire aussi que la présence de semblables ramifications indiquât une sorte d'étoilement de la roche par lequel la cassure se terminerait, et que le gîte ne se prolongeât pas au delà. On dit dans ce cas que le filon *s'éparpille*.

(26) **Terminaison des filons en direction.** — Un filon, c'est-à-dire une fente remplie de matières utiles venues de l'intérieur, qui a eu, par conséquent, assez d'importance à son origine pour traverser la majeure partie au moins de l'écorce terrestre, et être ainsi mise en relation plus ou moins immédiate avec la masse ignée intérieure, est un phénomène considérable, qui se rattache habituellement, d'une manière plus ou moins directe, à quelque grande rupture d'équilibre de la croûte terrestre. Il aura donc en général une grande longueur, de quelques centaines à quelques milliers de mètres.

Un filon peut s'arrêter en direction simplement parce que la fissure ne s'est pas étendue plus loin, et il se termine soit en coin, soit, comme on vient de le dire, par une sorte d'étoilement ou d'*éparpillement*.

Le filon peut être aussi *intercepté*. Cette expression se dit du cas où un filon vient buter en direction contre quelque grande faille au delà de laquelle on ne le retrouve plus. C'est ce qui pourra se produire lorsque la faille, supposée plus ancienne que le filon, sera tellement nette qu'elle aura détruit toute solidarité entre les deux terrains qui sont dans la région de son toit et dans celle de son mur; de telle sorte qu'une fissure qui a son origine dans une de ces

Digitized by Google

régions, aura bien pu se propager jusqu'à la faille, mais s'y sera arrêtée sans la franchir.

(27) **Terminaison des filons en profondeur.** — Ce qu'on vient de dire de l'extension en direction, on peut le répéter de l'extension en profondeur. Cette dernière doit être fort considérable, et il ne paraît pas que nulle part, avec les profondeurs atteintes aujourd'hui, qui ne vont pas encore au delà de 800 à 900 mètres, ou 1,000 mètres dans les mines les plus profondes, on puisse dire qu'on a véritablement atteint la limite en profondeur d'un gisement bien caractérisé. On a bien pu atteindre la limite du dépôt d'une matière utile donnée, ou la limite de puissance des moyens qu'on avait créés pour son exploitation, mais non la limite même de la cassure dans laquelle s'était formé ce dépôt.

(28) Les détails qui précèdent (nos 9 à 27) donnent, d'une manière sommaire, ce qu'on doit entendre par un gisement en couche et par un gisement en filon. Nous avons indiqué comment un tel gîte se présenterait à l'état normal, et quels sont les divers accidents d'allure qu'il peut présenter.

Nous avons supposé un gîte unique. Mais il n'en est pas toujours ainsi ; le cas contraire est peut-être le plus fréquent. On caractérise cette dernière circonstance, en posant ce qu'on appelle le principe *du parallélisme des gîtes*.

Il doit être considéré séparément pour les couches et pour les filons.

*Pour les couches*, on peut dire que la connaissance d'un gîte exploitable dans un certain terrain sédimentaire donné, peut faire présumer jusqu'à un certain point la présence de gîtes similaires, au-dessus ou au-dessous de lui : car il est assez naturel de supposer que les circonstances spéciales qui ont pu créer une couche exploitable de minerai de fer, de charbon ou de toute autre nature, ont bien pu avoir un caractère moins éphémère que celles qui ont amené une interruption ou une reprise dans le phénomène très-simple de la sédimentation en un point donné.

En fait il est rare, par exemple, qu'une couche de houille soit

Digitized by Google

*solitaire* dans un terrain houiller donné. Nous avons dit qu'il pouvait y en avoir plus d'une centaine. Il est rare qu'il n'y en ait pas au moins deux ou trois.

Ces diverses couches sont *à peu près* parallèles ; nous disons seulement à peu près, parce qu'il sera souvent arrivé, dans les enfoncements successifs qui ont été nécessaires pour produire la série des couches, que les dénivellations ne se seront pas produites uniformément ; de telle sorte qu'une partie du bassin soit restée définitivement à sec, ou profondément immergée, tandis que, au même moment, dans une autre région, la formation de la houille se continuait. Dans un tel cas, si l'on peut arriver à distinguer dans l'ensemble du terrain divers étages, ceux-ci ne seront pas en concordance absolue de stratification et ne se seront pas tous développés également sur les divers points du bassin.

*Pour les filons*, le principe du parallélisme des gîtes est à la fois moins précis et d'un sens plus étendu que pour les couches ; *moins précis*, en ce que les fentes produites parallèlement à un axe de rupture d'équilibre ne sont pas astreintes à un parallélisme aussi net que celui des assises d'un terrain sédimentaire ; *d'un sens plus étendu*, en ce que, indépendamment des cassures parallèles à l'axe, il tend à s'en faire d'autres dans un sens à peu près perpendiculaire au premier, et qu'en même temps des cassures préexistantes peuvent se rouvrir.

On peut donc avoir, et l'on a en effet habituellement, dans une région métallifère bien prononcée, non-seulement un filon orienté dans une direction donnée, mais encore une première série de filons qui lui seront plus ou moins exactement parallèles, et, en outre, une ou plusieurs autres séries de filons orientés suivant autant de directions distinctes.

Nous en citerons ci-après des exemples.

(**29**) Ces cassures multipliées, dans un étendue relativement restreinte, occasionnent de nombreuses intersections, ou, comme on dit, de nombreux croisements, qui sont, dans le réseau très-complexe que forme l'ensemble de ces gîtes, comme des espèces de *points singuliers* sur lesquels il y a quelques observations à faire.

Digitized by Google

En principe, lorsque deux filons se croisent de telle sorte que leurs directions ne se coupent pas sous un angle trop aigu, on distinguera facilement le filon *croiseur*, ou le plus moderne, et le filon *croisé*, qui est le plus ancien. Le premier est caractérisé par cette circonstance que les galeries d'allongement qu'on y trace se continuent en ligne droite. Dans le second, au contraire, comme il y a eu, en général, un mouvement relatif de la région du toit du croiseur par rapport à la région du mur, les deux parties du croisé ne se trouvent plus en regard l'une de l'autre, et les galeries d'allongement faites au même niveau, qui ne sont autre chose que les traces horizontales du gîte croisé, ne se trouvent plus en prolongement l'une de l'autre. On dit dans ce cas que le filon croisé est *rejeté* par le filon croiseur.

On remarquera que les mêmes circonstances peuvent se produire avec une couche.

Ainsi un gîte quelconque, filon ou couche, qui vient à être rencontré par une cassure, ou faille, accompagnée d'un déplacement relatif quelconque du toit et du mur de cette faille, sera généralement rejeté par cette faille.

En arrivant à cette faille, et la traversant, on ne retrouvera plus le gîte au delà, en prolongement de la ligne que l'on vient de suivre. Le mineur a dès lors à résoudre une question qui intéresse très-directement la pratique : celle de savoir de quel côté il doit marcher pour retrouver le gîte rejeté, ou, selon l'expression ordinaire, pour *passer le rejet*.

(**30**) Il peut se faire que le mineur soit guidé par certaines indications matérielles : qu'il rencontre, par exemple, au delà du rejet, quelque assise de terrain bien caractérisée dont la position au toit ou au mur du gîte soit connue ; ou bien qu'il soit éclairé sur le sens du rejet par l'inflexion des couches au contact de la faille, ou par la présence d'une sorte de traînée plus ou moins continue de la matière du gîte dans le plan même de cette faille (*fig.* 8 et 9).

A défaut de ces indications matérielles, on admet généralement (l'expérience le montre et le raisonnement le fait bien concevoir) que lorsqu'un rejet se produit, le mouvement auquel il est dû est

Digitized by Google

*un simple glissement du toit, qui descend par rapport au mur suivant la ligne de plus grande pente.*

Cette règle n'est, il faut le comprendre, qu'une approximation. Elle suppose que le mouvement du toit descendu sur le mur, ou du mur remonté le long du toit (selon qu'il s'agit d'un affaissement ou d'un soulèvement), est un simple mouvement de translation donnant lieu à un rejet vertical constant tout le long de la faille. Il n'en est pas toujours ainsi, et *il ne peut pas* même en être ainsi, puisqu'il y a habituellement un point où l'on voit commencer ou finir la faille, et qu'en ce point le rejet est nul.

On reconnaît souvent qu'à partir d'un tel point la faille augmente d'importance, ou *que le rejet s'ouvre*, à mesure que l'on s'éloigne. Dans ce cas le mouvement relatif devrait être considéré, non plus comme une simple translation, mais plutôt comme une rotation autour d'un certain axe perpendiculaire au plan de la faille ; ce qui est, ainsi qu'on le sait, le mouvement le plus général qu'on puisse considérer dans un plan, lorsqu'il s'agit d'un solide tout à fait invariable de forme.

Quoi qu'il en soit, ces *ouvertures de rejet* ne se produisent pas assez brusquement pour qu'on ne puisse pas considérer le rejet, en un point donné, comme s'étant le plus souvent manifesté dans le sens qui vient d'être indiqué.

D'après cela, quand on arrive à une faille, on n'a qu'à examiner, en se plaçant carrément devant le plan de cette faille sans la traverser, si ce plan prolongé passe au-dessus de la tête ou sous les pieds de l'observateur ; ou bien, ce qui est la même chose, si l'on est arrivé à la faille *par la région de son mur* ou *par la région de son toit*. En admettant que c'est la région du toit qui est descendue par rapport à celle du mur, on est, dans le premier cas, devant ce que les mineurs appellent *un rejet en bas*, et dans le second cas devant *un rejet en haut*. C'est-à-dire qu'il faudrait ou *descendre*, ou *monter*, selon le cas, en suivant la ligne de plus grande pente du gîte, si l'on voulait retrouver *le point du gîte rejeté qui, avant le rejet, coïncidait avec le point que l'on occupe.*

Si l'on imagine, dans la région dans laquelle on se trouve, un plan horizontal se prolongeant jusqu'à son intersection avec le plan de la

Digitized by Google

faille, ces deux plans formeront deux angles supplémentaires, et l'on voit facilement que la règle ci-dessus indiquée peut s'énoncer en disant que, pour retrouver le gîte, il faut cheminer *du côté de l'angle obtus*.

La règle ainsi énoncée est connue sous le nom de *règle de Schmidt* ou de *règle de l'angle obtus*.

On doit la considérer comme étant purement et simplement la traduction de ce fait : *Dans un rejet occasionné par une faille, la région du toit a ordinairement glissé, en descendant suivant la plus grande pente, sur la région du mur.*

(**31**) En appliquant la règle de Schmidt, c'est-à-dire *en montant* si le plan de la faille *passe sous les pieds* du mineur, *en descendant* si ce plan passe *au-dessus de sa tête*, on ira retrouver l'autre partie du gîte. On peut bien, si l'on veut, faire cette recherche en montant ou en descendant effectivement pour étudier l'importance du rejet, si c'est la première fois qu'on le rencontre ; mais ce n'est pas habituellement suivant ce chemin que devra être prolongée définitivement la galerie qui est venue rencontrer la faille.

Désignons (*fig.* 22) par MO la trace horizontale d'un gîte donné, ou l'axe d'une galerie d'allongement que l'on suit sur ce gîte, jusqu'en un point O, où l'on vient subitement buter contre une faille dont on reconnaît que la trace horizontale est BS.

Les deux flèches indiquent le sens que nous supposons, pour fixer les idées, à l'inclinaison du gîte et de la faille.

Si l'on se donne en outre la grandeur de chaque inclinaison, un tracé simple permettra de trouver la ligne OT, projection horizontale de la trace du gîte sur le plan de la faille. Il suffira, pour cela, de couper les deux plans par un second plan horizontal. On aura deux intersections O'M' et O'S' respectivement parallèles à OM et OS, dont l'intersection donnera un point O' appartenant à la ligne OT cherchée.

D'après le sens indiqué par la flèche pour l'inclinaison de la faille, la galerie d'allongement MO est dans la région du toit de cette faille. Il faut donc monter suivant la ligne de plus grande pente OX, pour retrouver le point qui, avant le rejet, coïncidait avec le point O. Ce point est quelque part comme en D'.

Digitized by Google

Menant D'T' parallèle à OT, cette ligne sera la projection horizontale de la trace sur le plan de la faille de la portion du gîte qui est dans la région du mur. Cette parallèle coupera en S la ligne OS; menant au point S la ligne SA parallèle à OM, on aura la ligne de direction du gîte au delà de la faille. La portion du gîte qui est au toit de la faille est limitée à la ligne indéfinie TOV; celle du mur à la ligne indéfinie T'SD'C, parallèle à TOV, et l'intervalle entre ces deux lignes est la projection *d'un espace stérile*, dans lequel il n'existe aucun point du gîte.

Dans l'angle trièdre SABC, on connaît les angles dièdres A et B, qui correspondent aux arêtes SA, SB, et l'angle plan ASB $= c$ opposé à l'arête SC; on pourra, soit par un tracé graphique, soit par le calcul, connaissant la grandeur $l$ du rejet suivant la pente, trouver la longueur et la direction des divers chemins qu'on peut suivre en partant du point O, pour aller rejoindre le gîte rejeté, ou tout au moins, si la grandeur $l$ n'est pas connue, trouver le rapport entre toutes ces lignes.

Prenant XOD $=$ B, et élevant la perpendiculaire D'D à la ligne OX, la longueur OD est la quantité désignée par $l$. C'est la *grandeur du rejet mesuré suivant la pente de la faille.* Rabattant D en $D_1$, $SD_1C_1$ sera le rabattement de l'arête SC. Abaissant OF perpendiculaire sur $SC_1$, on aura, en vraie grandeur, la plus courte distance entre les deux traces TOV et T'SD'C.

Menons par le point O un plan vertical perpendiculaire à SA et ayant pour trace OY. Il coupera le plan SAC suivant la ligne de plus grande pente. Rabattant cette intersection autour de OE comme charnière, l'angle OEG sera l'angle A, et la perpendiculaire OG sera en vraie grandeur la plus courte distance entre les deux parties du gîte. Enfin, dans le plan ASB, SO sera la distance horizontale dans le plan de la faille, et OE la plus courte distance horizontale.

La construction graphique donne, comme on voit, le rapport entre ces diverses distances, et leur grandeur absolue si l'une d'elles est connue.

(**32**) Le calcul peut également les donner très-simplement.

Digitized by Google

Désignant par $l$ la longueur OD, qui est, avons-nous dit, *l'étendue du rejet suivant la pente de la faille*, nous aurons :

$DD' = l \sin B$, *étendue du rejet dans le sens vertical.*

$OS = l \cot a$, *rejet horizontal dans le plan de la faille.*

$OE = OS \sin C = l \cot a \sin c$, *rejet horizontal.*

$OG = OE \sin A = l \cot a \sin c \sin A$, *rejet estimé perpendiculairement au plan du gîte.*

$OF = OS \sin a = l \cot a \sin a = l \cos a$, *étendue du rejet dans le plan de la faille.*

On a d'ailleurs, d'après une formule connue :

$$\text{Cot}\, a \sin c = \cos c \cos B + \sin B \cot A.$$

On en déduit successivement

$$\text{Cot}\, a = \frac{\cos c \cos B + \sin B \cot A}{\sin c}$$

$$\text{Tang}\, a = \frac{\sin c}{\cos c \cos B + \sin B \cot A}$$

$$\text{Sec}\, a = \sqrt{1 + \text{tang}^2 a} = \frac{\sqrt{\sin^2 c + (\cos c \cos B + \sin B \cot A)^2}}{\cos c \cos B + \sin B \cot A}$$

$$\text{Cos}\, a = \frac{\cos c \cos B + \sin B \cot A}{\sqrt{3\, m^2 c + (\cos c \cos B + \sin B \cot A)^2}}$$

et par suite on peut former le tableau suivant :

$$OD = l$$
$$DD' = l \sin B$$
$$OS = l \frac{\cos c \cos B + \sin B \cot A}{\sin c}$$
$$OE = l (\cos c \cos B + \sin B \cot A)$$
$$OG = l (\cos c \cos B \sin A + \sin B \cos A)$$
$$OF = l \frac{\cos c \cos B + \sin B \cot A}{\sqrt{\sin^2 c + (\cos c \cos B + \sin B \cot A)^2}}.$$

On examinera d'après l'épure, ou d'après les calculs ci-dessus, en ayant d'ailleurs égard aux convenances diverses de l'exploitation, quel chemin on devra suivre pour retrouver le gîte rejeté et y rétablir les chantiers. Habituellement on trouvera convenance à marcher horizontalement, soit dans le plan de la faille suivant SO, soit *à travers bancs* suivant OE; mais il faut remarquer que le chemin

Digitized by Google

OE n'est pas toujours possible, en ce sens que la perpendiculaire OE sur la trace SA pourrait, dans certains cas, tomber non sur cette trace même, mais sur son prolongement géométrique. C'est ce qui aurait lieu, par exemple, si le rejet dans le plan de la faille avait eu lieu vers B, ou *sur la droite*, et non vers S, ou *sur la gauche*.

De même la perpendiculaire OG pourrait ne pas tomber dans l'intérieur de l'angle ASC, et dans ce cas, en cheminant suivant OG on rencontrerait non le gîte rejeté, mais seulement son prolongement idéal au delà de son intersection avec la faille.

(**33**) Telles sont les conséquences que l'on déduit, soit pour les couches, soit pour les filons, de l'application de la règle de Schmidt.

L'expérience prouve que cette règle est applicable *dans un grand nombre de cas;* de sorte qu'en général un mineur arrivant à une faille n'hésite pas à dire, dès qu'il en a reconnu l'orientation, s'il est devant un *rejet en haut* ou un *rejet en bas*, et il se dirige en conséquence.

Mais il peut se faire, et c'est là une remarque à noter, que la seule inspection des lieux ne suffise pas pour lui indiquer le sens dans lequel il doit marcher horizontalement, et qu'il lui faille recourir à une construction graphique pour s'en assurer.

C'est ce qui aurait lieu, par exemple, si les choses se présentaient comme dans la fig. 23. On saurait bien, une fois arrivé en O, qu'il faudrait monter suivant OX pour retrouver le point D projeté en D′; mais devrait-on tracer une ligne telle que $D'S_1$ ou telle que $D'S_2$, et par conséquent le rejet horizontal dans le plan de la faille serait-il sur la gauche ou sur la droite? Cela dépendrait de la *grandeur respective des inclinaisons* du gîte et de la faille. On voit facilement qu'avec une faille plate et un gîte incliné le rejet pourrait être vers $S_1$; qu'il pourrait être au contraire vers $S_2$ dans les circonstances inverses.

(**34**) La règle de Schmidt, quoique d'une application fréquente dans la pratique, ne peut être en principe considérée comme infaillible. Lorsqu'il s'agit d'accidents peu considérables, pouvant être regardés comme des affaissements ayant un caractère local,

Digitized by Google

*depuis la formation desquels le terrain n'a pas été soumis à d'autres perturbations importantes*, on considère que les cassures se sont produites d'une manière analogue à ce qui se fait dans un éboulement; c'est-à-dire qu'elles ont eu lieu en suivant un certain talus, le long duquel le glissement a lieu, et la règle de Schmidt s'applique évidemment dans ces circonstances. Mais il n'est pas moins évident que si depuis la production de cet accident, le terrain avait été soumis dans son ensemble à un phénomène de soulèvement considérable, *le sens de l'inclinaison* de la faille aurait pu être renversé; le mur serait devenu le toit et inversement, et l'on observerait aujourd'hui un sens de glissement inverse de celui qu'indique la règle.

Il est possible d'ailleurs que la règle ait été en défaut, même lors de la formation de la cassure; ce cas aura pu se produire si le phénomène de soulèvement a été accompagné de poussées horizontales comme celle que déterminerait l'intercalation violente d'une roche ignée à travers d'autres terrains; il peut alors, en effet, se manifester des ruptures plus ou moins inclinées, dans lesquelles le prisme supérieur soit obligé de glisser en remontant le long du plan de rupture.

La règle de Schmidt serait encore en défaut, *et ne donnerait plus rien*, dans deux autres cas :

D'un côté, pour un filon, si la faille *interceptait* le filon, au lieu de le *croiser ;*

D'un autre côté, pour une couche, si au delà de la faille on trouvait un changement notable et persistant dans la direction ou l'inclinaison de la couche; de telle sorte que la rupture observée ne fût due qu'à l'angle plus ou moins aigu suivant lequel les couches auraient dû se plier (*fig.* 24).

Il faut encore remarquer qu'à la rencontre de deux failles *se coupant sous un angle aigu*, le rejet qu'on observe n'est quelquefois qu'une fausse apparence, attendu que le filon rejeté peut être le plus moderne. Cela est dû à la même circonstance qui produit les *filons-couches* et les *filons de contact ;* c'est-à-dire que la cassure la plus moderne rencontrant l'ancienne sous un petit angle, se sera déviée pour la suivre pendant un certain temps et reprendra son cours un

Digitized by Google

peu plus loin. Comme les filons-couches et les filons de contact ne sont pas rares, on peut s'attendre aussi à rencontrer assez fréquemment ces *faux rejets*, et l'on en pourrait citer de nombreux exemples.

Enfin on peut avoir deux failles qui à leur rencontre semblent se rejeter mutuellement. Ce *double rejet* pourra être dû en général à ce que la cassure la plus ancienne, d'abord rejetée par l'autre, se sera rouverte postérieurement, de manière à faire subir aux deux masses de terrain qu'elle sépare un nouveau mouvement relatif entraînant le rejet de la seconde cassure.

(**35**) Indépendamment des circonstances *communes aux couches et aux filons* qui se présentent à la rencontre des failles ou des croiseurs, et dont nous venons de parler, il y a, *pour les filons*, à considérer l'influence que ces rencontres peuvent exercer sur leur richesse.

En principe, cette influence doit être, à priori, regardée comme pouvant être plutôt heureuse que défavorable; car cette double rupture, dans deux sens différents, ne peut que rendre plus facile la communication avec ce grand laboratoire intérieur auquel nous avons dit que sont empruntées les matières utiles qui remplissent les filons.

Il ne faut pas sans doute s'exagérer l'influence dont nous parlons, et le cas le plus fréquent peut-être sera que cette influence ne se sera pas produite d'une manière sensible. Cependant on a des exemples extrêmement nets du contraire, et l'on a cité des mines qui ont donné d'énormes richesses accumulées dans deux filons aux environs seulement de leurs points de rencontre, de sorte que les travaux ont dû se restreindre en direction; n'occupant en plan que quatre branches peu étendues, figurant une sorte de croix autour du point de rencontre.

(**36**) Les détails ci-dessus (n$^{os}$ 9 et suivants) donnent, sur l'origine des filons et des couches, et sur leur manière d'être dans le sein de la terre, les détails qui doivent être familiers au mineur, pour qu'il puisse se reconnaître et se guider au milieu des circon-

Digitized by Google

stances variées qu'il est exposé à rencontrer. Il importe essentiellement, dans toute exploitation, de conserver la trace de ces diverses circonstances, pour la suite à donner aux travaux.

On y parvient par la tenue d'un registre d'avancement, sur lequel on note, en précisant le lieu et la date de l'observation, et avec des croquis à l'appui, s'il y a lieu, la coupe du gisement, la nature et la qualité des roches encaissantes, l'inclinaison, la direction et en général les divers éléments qui caractérisent son allure au point observé.

Il faut, en outre, représenter graphiquement, en plan, coupe et élévation, tous les travaux. Cette représentation est très-simple et très-facile lorsque le gîte est assimilable à une sorte de grande lentille à peu près plane ; ce qui est sa disposition originelle. Dans ce cas, en effet, un plan horizontal pour une couche, un plan vertical parallèle à la direction pour un filon, suffiront pour représenter clairement et presque dans leur vraie grandeur à l'échelle adoptée, ces travaux d'exploitation exécutés sur le gîte. Mais les dérangements ultérieurs que ce gîte a pu subir, et qu'il a même généralement subis d'une manière plus ou moins énergique, donnent lieu, comme nous l'avons dit plus haut (n° 17), à des apparences complexes auxquelles il faut s'habituer.

En principe, une coupe horizontale dans le gîte devrait donner une seule ligne droite, puisque telle est l'intersection de deux surfaces planes. Mais une série d'ondulations, ou une série de dressants et de plateurs ayant leurs axes ou crochons parfaitement horizontaux, donneront pour un seul et même gîte une suite de lignes droites parallèles (*fig.* 25).

Si ces axes ou crochons ont un certain ennoyage, l'apparence deviendra beaucoup plus complexe. Les lignes droites cesseront d'être parallèles et deviendront des lignes convergentes se raccordant par des courbes plus ou moins prononcées (*fig.* 26).

Si l'ennoyage change d'inclinaison, on obtiendra soit des courbes fermées plus ou moins allongées, soit des courbes à branches indéfinies, avec l'aspect desquelles il faut se familiariser. Ainsi, par exemple, la figure 27 représente la coupe horizontale d'une selle et d'un fond de bateau consécutifs dont les axes forment une ligne

Digitized by Google

concave vers le haut. La figure 28 représente le cas inverse d'ennoyages plongeant de part et d'autre à partir d'un point donné. Les figures 29 et 30 correspondent, pour les dressants et plateurs, aux figures 27 et 28 pour les selles et fonds de bateau.

Si l'on se représente un étage d'exploitation compris entre deux niveaux donnés, cet étage poussé en direction pourra passer successivement, grâce à l'ennoyage, des plats dans les droits, ou inversement ; les deux lignes de niveau seront en projection horizontale, très-voisines l'une de l'autre dans les dressants supposés rapprochés de la verticale, très-écartées au contraire relativement dans les plats, supposés n'avoir qu'une faible inclinaison. L'apparence sera celle de la figure 31, dans laquelle les lignes A′, B′, C′ représentent, par exemple, la voie de roulage inférieure, et les lignes $A_1 B_1 C_1$ le retour d'air ménagé à la partie supérieure des tailles. Les distances horizontales des lignes correspondantes A′ et $A_1$, B′ et $B_1$, C′ et $C_1$ varient en sens contraire de l'inclinaison de la branche de couche considérée.

(**37**) Pour l'apparence produite par une faille obéissant à la règle de Schmidt, et coupant un gîte assimilé à un plan, on voit, en se reportant aux figures 22 et 23, qu'on obtient en projection un espace stérile compris entre deux lignes droites parallèles $TOT_1$, T'SC.

Ces deux lignes cessent d'être des droites parallèles et sont remplacées par deux lignes qui convergent vers le point où l'on observe que le rejet commence à se faire sentir (*fig.* 32).

Si, à partir de son origine, le rejet prend une importance croissante en s'ouvrant de plus en plus, les deux lignes vont en s'écartant et la largeur de la partie stérile augmente de plus en plus, ainsi que l'indique la figure 32 précitée.

Si l'on voit le rejet commencer en un point et, après être resté plus ou moins ouvert sur une certaine distance, se fermer de nouveau en un autre point, la zone stérile commencera à zéro, s'élargira peu à peu, et ensuite se rétrécira de même pour revenir à zéro (voy. la fig. 33).

Si le gîte rejeté, au lieu d'être assimilable à un plan, doit être assimilé à une surface plane plus ou moins contournée, les deux li-

Digitized by Google

gnes telles que TOV et T'SC (*fig.* 22) sont des lignes courbes quelconques identiques, qui, dans le cas d'un glissement simple, se sont déplacées parallèlement, ce qui donne à la zone stérile qu'elles dessinent en plan une forme sinueuse et des largeurs très-variables (*fig.* 34).

Enfin, si le rejet a eu lieu contrairement à la règle de Schmidt, on trouve en plan, au lieu d'une zone stérile, une zone dans laquelle le gîte est en quelque sorte doublé sur lui-même.

(**38**) Après les couches et les filons, satisfaisant aux conditions ci-dessus indiquées, et qui sont, en quelque sorte, les gisements classiques, viennent ceux que la loi des mines a qualifié du nom d'*amas*.

On appelle *amas* des masses minérales qui, par *leur mode de formation*, rentrent plus ou moins complétement dans la catégorie soit des couches, soit des filons proprement dits, mais qui, par *leur allure* et par *leurs formes irrégulières*, ne satisfont pas à la définition géométrique de ces gîtes, en ce sens qu'elles n'ont pas *deux dimensions pouvant être regardées comme indéfinies par rapport à la troisième*. Ce sont des masses souvent ovoïdes ou arrondies, *dont deux dimensions au moins sont limitées et comparables l'une à l'autre*.

La production de l'amas peut être due, dans le cas d'un gîte d'origine sédimentaire, soit à un phénomène contemporain qui aura amené une grande accumulation de matière dans une étendue limitée, soit à ce que, postérieurement au dépôt, les inégalités de pression dues aux soulèvements auront amené la structure en chapelet du gîte, et un amas pourra être, en quelque sorte, *un des grains de ce chapelet*.

Dans le cas de gîtes ayant l'origine des filons, c'est-à-dire formés postérieurement au terrain encaissant, on pourra supposer qu'au lieu d'un système de fentes étendues coordonnées à *un axe de soulèvement*, on ait de simples crevasses peu étendues coordonnées à *un centre de soulèvement*, que les matières soient ainsi arrivées à la surface ou au voisinage de la surface par des espèces de cheminées plus ou moins analogues à celle que présente le cratère d'un volcan.

On pourra avoir ainsi toutes les variétés de phénomènes que nous présentent les contrées volcaniques; *des éruptions de roches ignées*

Digitized by Google

qui seront venues jusqu'à la surface former soit des dômes, soit des nappes plus ou moins étendues, selon leur degré de fusion ; *des éruptions aqueuses* qui auront formé des dépôts plus ou moins complexes, comme le Geyser, en Islande, nous en donne encore un exemple, etc., etc.

Telle paraît bien être l'origine d'un grand nombre de gisements.

On attribuerait, par exemple, une origine ignée aux amas de minerai de fer de l'Iron Mountain et du Pilot Knob (États-Unis d'Amérique), qui s'élèvent comme des buttes porphyriques isolées au-dessus du sol environnant; on attribuerait, au contraire, une origine aqueuse à d'autres amas de minerai de fer qui semblent l'épanouissement à la surface, ou au voisinage de la surface, de cheminées qui se rétrécissent en profondeur ; aux gîtes de calamine qui se retrouvent sur un grand nombre de points avec des caractères assez constants d'amas irréguliers, limités en direction et en profondeur, et situés au milieu de terrains calcaires, dans des fissures préexistantes qui ont été élargies par l'action de dissolutions, en même temps que les roches encaissantes ont été plus ou moins complétement transformées en dolomies; aux gîtes de phosphate de chaux récemment reconnus dans un grand nombre de localités du sud-ouest de la France, etc., etc.

On appelle spécialement *amas couché*, un amas intercalé dans un terrain stratifié, et qui ne diffère d'une véritable couche que par son étendue bornée en direction, comparable à sa puissance.

On appelle *amas droit*, ou *masse droite*, un amas qui est à un filon ce que l'amas couché est à une couche.

Ces masses droites sont souvent dans la position des filons de contact ou des filons couches. Il n'est pas toujours facile de discerner dès l'abord, dans ce dernier cas, si un gîte donné est un amas couché ou une masse droite. C'est la poursuite de l'exploitation qui permet de voir si le parallélisme avec les couches se poursuit partout, ou si l'on ne rencontre pas quelque point où ce parallélisme est en défaut, ou bien si l'on ne trouve pas l'évent ou le conduit par lequel sont venues s'épancher ces matières, ou entre les joints d'un terrain sédimentaire ou entre deux terrains, ou enfin à la surface du sol.



Digitized by Google

(**39**) Il faut enfin, pour compléter ces notions générales, ajouter que beaucoup de gisements, tout en rentrant plus ou moins dans les cas ci-dessus, ont reçu, à cause de quelque trait particulier de leur allure ou de leur mode de formation, des dénominations spéciales qu'il importe de connaître.

On appelle *amas entrelacés*, ou *stockwerks*, des masses de roches ignées, pénétrées d'un grand nombre de veinules de minerais métalliques se croisant dans divers sens. On peut supposer que la masse fendillée dans tous les sens ait été exposée à des vapeurs ou à des dissolutions apportant ces matières métalliques; ou bien que celles-ci, disséminées d'abord d'une manière plus ou moins intime dans la masse en état de fusion, s'y soient ultérieurement concentrées sur certains points, lors de la solidification, par un certain mouvement moléculaire dont on a ailleurs d'autres exemples.

Cette dénomination de stockwerks s'applique principalement à certains gisements d'oxyde d'étain que l'on trouve en Angleterre et en Allemagne.

On appelle *minerais d'alluvion* les minerais qui se trouvent dans les alluvions, et qui proviennent, comme ces alluvions elles-mêmes, de la destruction de roches plus anciennes et de leur remaniement par les eaux courantes. Ce sont, si l'on veut, des couches quant à l'origine, en ce sens que le terrain est dû à l'action des eaux ; mais cette action s'est développée dans des conditions spéciales, essentiellement distinctes de celles qui ont formé les couches des véritables terrains sédimentaires. Les parcelles de minerai, au lieu de former des couches continues et distinctes, sont simplement disséminées d'une manière irrégulière au milieu des matières stériles constituant la masse du terrain d'alluvion.

Ces alluvions renferment, sous un volume donné, de très-petites quantités de matières ; mais elles peuvent avoir une grande importance à cause de la grande échelle sur laquelle elles se sont quelquefois formées, par exemple, en Sibérie, en Californie, au Brésil, etc.

On désigne sous ce même nom de *minerais d'alluvion* des minerais de fer qui se rencontrent dans beaucoup de parties de la France, sous forme de grains arrondis et isolés, empâtés dans une masse argileuse ou sableuse, et remplissant des cavités irrégulières

Digitized by Google

dans des roches calcaires. La structure oolithique n'est ici qu'une fausse apparence de l'action mécanique que les eaux auraient exercée sur ces graviers dans un mouvement de transport. En réalité, chaque grain a eu dès l'origine sa figure actuelle, et le minerai a été formé sur place par l'action de dissolutions acides ferrugineuses, qui ont attaqué avec effervescence les roches calcaires, en donnant comme résultat de cette attaque un dépôt d'oxyde de fer.

Ces minerais ont donc exactement l'origine indiquée plus haut. Ce sont, non des *alluvions*, mais des *amas* ayant l'origine des filons, ainsi qu'on l'a dit au numéro précédent.

Ces amas peuvent d'ailleurs avoir des dimensions très-variées. On en observera qui n'auront que quelques mètres cubes. On en a exploité qui ont eu jusqu'à 20 et 30 mètres de diamètre horizontal près du jour, et qu'on a poursuivis jusqu'à 50 mètres de profondeur. L'enlèvement du minerai de ces amas, ou poches, rend manifestes les traces d'érosion de leurs parois, ainsi que des parois des aiguilles calcaires restées quelquefois, en forme de témoins, au milieu de la masse du minerai. On a observé de ces aiguilles ayant jusqu'à 40 mètres de hauteur verticale, avec un diamètre de 2 mètres au sommet et de 4 mètres à la base.

On dit encore qu'un gisement se présente en *rognons*, en *nodules*, en *concrétions*, etc., lorsqu'il semble avoir été d'abord plus ou moins irrégulièrement disséminé dans la masse, et concentré ensuite sur divers points par certains mouvements moléculaires; tels sont les silex ou les boules de pyrites dans la craie, les noyaux de galène dans certaines couches de grès du trias, les rognons de fer carbonaté dans certaines couches appartenant au terrain houiller, etc., etc.

On peut encore concevoir les gisements adventifs désignés en allemand sous le nom de *grazenlaüfer*, littéralement *coureurs de gazon*, qui sont de petites masses minérales d'une étendue extrêmement limitée, ne paraissant se rattacher à aucun gisement étendu et défini, susceptible d'exploitation.

On doit se les représenter, soit comme des concentrations de matières préexistantes dans la roche, mais n'entrant pas dans sa composition normale, et venant y former les rognons ou concrétions

Digitized by Google

ci-dessus indiqués, soit comme des matières venues après coup par un phénomène postérieur, *analogue*, sauf l'échelle, *à celui qui produit les filons exploitables*. On en peut concevoir à priori l'origine, par cette considération qu'un terrain étant en général, comme l'indique la pratique journalière des mines, plus ou moins perméable aux eaux de la surface, il peut l'être également aux dissolutions ou aux sublimations venant de l'intérieur. C'est ainsi qu'une cassure donnant une simple fissure qui ne se rattache à aucun grand accident géologique, pourra accidentellement renfermer, à l'état adventice, des matières étrangères à la composition de la roche encaissante, des *matières de filon*, sans que la présence de ces matières corresponde nécessairement à l'existence dans le même lieu d'un gisement qui en contienne en quantité industriellement utilisable.

Il faut concevoir que les diverses circonstances qui ont pu amener ces petits dépôts locaux et sans suite, ces *gîtes irréguliers*, de substances minérales utiles, ne sont nullement, de leur nature, des circonstances exceptionnelles. On est donc fréquemment exposé à rencontrer de tels gîtes, et l'on ne peut, d'un premier indice donné, conclure sûrement à l'existence d'un gîte exploitable qu'après en avoir étudié spécialement et reconnu l'étendue et la richesse.

Cette observation est tout à fait essentielle. C'est parce qu'on n'y a pas toujours égard autant qu'il conviendrait, en créant une affaire nouvelle, que l'industrie des mines nous offre, à côté des résultats les plus éclatants, le contraste de tant d'exemples de déceptions et de ruines.

Digitized by Google

# CHAPITRE II

## EXEMPLES DIVERS DE GISEMENTS

(**40**) Les indications générales données dans le chapitre précédent sur l'origine et sur les modes de formation des divers gisements de substances minérales, ainsi que sur les circonstances très-variées que peut présenter l'allure de ces gisements, doivent être familières à toute personne qui veut s'occuper, à un point de vue technique, de l'industrie des mines. Elles sont également nécessaires, soit pour l'établissement d'un projet rationnel de travaux d'aménagement sur un gîte donné ou sur un ensemble de gîtes, soit pour la conduite journalière des travaux d'exploitation.

Nous considérerons ici quelques exemples de ces gisements, en insistant sur les circonstances particulièrement intéressantes pour le mineur, que peut présenter chacun de ces exemples.

(**41**) D'abord, quant à l'échelle sur laquelle ces gisements se présentent, il faut concevoir qu'elle varie *entre les plus larges limites*, depuis des dimensions insignifiantes, absolument impropres à justifier toute tentative d'exploitation industrielle, jusqu'aux plus vastes proportions contenant des quantités de matières utiles, qui suffiraient, pour un grand nombre d'années, aux besoins de la consommation du monde entier.

L'exemple le plus remarquable que l'on puisse citer à ce dernier point de vue, est celui du grand bassin houiller à l'ouest des Alleghanys (États-Unis d'Amérique). Une seule couche de houille de ce

Digitized by Google

bassin, dite Pittsburgseam, d'environ $2^m,20$ d'épaisseur moyenne (comprise entre 1 mètre et 4 mètres), y a été reconnue sur une étendue superficielle de 14,000 milles carrés anglais, et semble avoir occupé, avant d'être dénudée, au moins 34,000 milles. Même réduite à son étendue actuelle, cette couche occupe encore plus de 3,600,000 hectares. A 2 tonnes de houille par mètre carré (ce qui semble un minimum), elle contient 72 milliards de tonnes, ce qui serait l'alimentation pendant plus de 300 ans *du monde entier*, sur le pied actuel d'environ 210 à 220 millions de tonnes. Encore doit-on remarquer qu'il ne s'agit que *d'une seule* des couches *d'un seul* bassin houiller du pays. Si l'on considérait l'ensemble des terrains houillers des États-Unis, on trouverait qu'ils occupent une surface totale de plus de 500,000 kilomètres carrés, presque égale à celle de la France entière, qui est de 56 à 57 millions d'hectares.

On peut citer encore, dans l'est de la France, le Luxembourg et la Lorraine, le beau gisement de minerai de fer hydroxidé oolithique, qui se trouve en couche dans le terrain jurassique, au-dessus des marnes supraliasiques.

Ce gisement existe, d'une manière à peu près continue, sur la rive gauche de la Moselle, depuis Nancy jusque vers Luxembourg, se montrant au jour sur les flancs de toutes les vallées qui aboutissent au grand escarpement limitant à l'est le plateau jurassique de la Meuse et de la Moselle. Sa longueur, du nord au sud, est d'au moins 100 kilomètres. Sa largeur, estimée seulement d'après la distance maxima, de l'est à l'ouest, des points reconnus jusqu'ici sans travaux d'épuisement, dépasse certainement 20 kilomètres (au moins dans la région du nord). En admettant le rendement moyen de 3 tonnes par mètre carré, on en conclura, avec une superficie assurément supérieure à 200,000 hectares, une quantité dépassant six milliards de tonnes. C'est pour l'ensemble des usines qui s'alimentent sur ce gîte, quelle que soit leur activité, un avenir, en quelque sorte, indéfini, à compter, non par siècles, mais par milliers d'années.

C'est en outre, relativement à la consommation annuelle du fer dans le monde, à peu près la même proportion que nous donnait l'exemple précédent relativement à la consommation de la houille. Il est clair que des gîtes d'une telle richesse ne sont nulle part

Digitized by Google

appropriés dans les mains d'une seule compagnie d'exploitation; une compagnie de ce genre n'a ordinairement, sur un gîte d'une certaine importance, qu'une concession d'une étendue limitée. Elle est considérée comme étant dans une condition satisfaisante d'avenir, lorsqu'elle a devant elle, sur un pied d'activité en rapport avec l'importance de ses frais généraux, une exploitation assurée pour un temps qui lui permette d'amortir, avec une annuité modérée, l'intégralité du capital de premier établissement qu'elle a engagé dans l'affaire.

Cette dernière considération est tout à fait essentielle, et l'on peut dire que, quelle que soit la nature d'un gîte, quelle que soit la richesse du minerai qu'il fournit, la première condition qu'il doit remplir pour qu'il soit utilement exploitable, pour qu'il ait *une valeur industrielle appréciable*, indépendamment de l'intérêt qu'il peut présenter d'ailleurs au point de vue scientifique, c'est que la matière à exploiter s'y trouve *avec une abondance suffisante*. On ne saurait trop insister sur ce point, et répéter qu'on ne sait, pour ainsi dire, *encore rien* d'une mine, lorsqu'on n'a que la connaissance minéralogique et même chimique d'un échantillon qui en provient. Un échantillon de *galène*, par exemple, peut être aussi riche en plomb que le comporte la composition théorique de ce minerai; il peut avoir une teneur en argent aussi considérable que l'on voudra, sans qu'il en résulte *aucune présomption* de l'exploitabilité du gîte qui a fourni cet échantillon. Tout ce qu'on doit en conclure, c'est qu'il peut y avoir là *matière à un examen ultérieur;* mais toute autre conclusion plus positive serait prématurée.

(**42**) Il n'entre pas dans notre cadre de donner une description détaillée, des monographies, des divers bassins houillers ou autres gisements importants. Ces descriptions sont essentiellement du domaine de la géologie. On se bornera donc à un petit nombre d'exemples, choisis de manière à reproduire les principales circonstances d'allure indiquées au cours du chapitre précédent.

(**43**) 1er Exemple. — **Bassin houiller du couchant de Mons.** — Le bassin de Mons est à peu près vers la partie centrale d'une for-

Digitized by Google

mation houillère très-étendue, qui, sauf certaines interruptions locales, les unes contemporaines peut-être du dépôt, les autres dues souvent à la superposition de terrains plus modernes, peut se suivre au jour depuis le bassin de la Ruhr (Westphalie), en passant par Aix-la-Chapelle, Liège, Namur, Charleroi et Mons, jusqu'à Valenciennes, Douai, Béthune, Hardinghem, et se rattache peut-être au bassin houiller du Pays de Galles, en passant sous les terrains secondaires du sud de l'Angleterre.

Tous les bassins houillers distribués sur cette longue zone sont orientés suivant deux directions principales, dont le point de convergence est à Douai ; ils ont des traits généraux de ressemblance, qui conduisent à les considérer comme contemporains et comme formés dans les mêmes conditions. Ils ont le caractère de dépôts marins, formés dans des golfes étroits et profonds, que dessinaient les replis et contournements des terrains de transition sur lesquels ils reposent. La coupe (*fig.* 35) est faite à peu près, du nord au sud, perpendiculairement à la direction générale des couches.

On fera à l'occasion de cette coupe diverses observations :

1° Le nombre des couches qui y sont indiquées est très-considérable ; si l'on imagine qu'on les ait toutes prolongées jusque sous la partie centrale du bassin, en leur conservant à peu près leur parallélisme, on trouve pour l'ensemble du terrain houiller une épaisseur qui approche de 3,000 mètres.

Ce nombre de couches et cette grande épaisseur totale indiquent, à la fois, la fréquence des dénivellations que subissait le fond du bassin et la puissance de l'action sédimentaire, pendant que le terrain houiller se déposait.

2° Toutes les assises du terrain présentent dans la région du sud une série de replis, ou de dressants et de plateurs, indiquant une action violente, postérieure au dépôt, qui s'est fait sentir, à la fois, pour soulever ces assises et pour les refouler latéralement vers le nord.

Il a dû en résulter à la surface du sol, immédiatement après le soulèvement, un profil excessivement accidenté, dont il ne reste plus trace aujourd'hui; le terrain houiller atteint seulement un niveau un peu plus élevé au sud qu'au nord ; mais le tout est re-

Digitized by Google

couvert par des morts-terrains sensiblement horizontaux, dont l'épaisseur augmente en marchant du sud au nord.

C'est cette augmentation d'épaisseur de terrains, d'ailleurs très-aquifères et très-difficiles à traverser, qui fait que les exploitations ont été principalement concentrées jusqu'ici au sud de l'axe ou de la *Naie* du bassin.

La coupe très-accidentée du terrain houiller contraste fortement avec la surface presque plane et à peine ondulée à laquelle arrivent les chefs des diverses couches, et est un des exemples les plus remarquables que l'on puisse citer de l'échelle immense sur laquelle ont dû se produire les phénomènes d'érosion.

3° Quelque active que soit l'exploitation du bassin, elle n'y a pas encore, en moyenne, atteint 500 mètres de profondeur, et elle a eu lieu principalement tant dans la région des dressants que dans celle des grands plats ou combles du Midi, qui succèdent à ces dressants jusqu'à la Naie.

*Les grands combles du Nord*, situés au delà de la Naie, sont presque intacts. On en conclut que le bassin houiller de Mons a encore un grand avenir, et qu'il peut, non-seulement maintenir sa production pendant un grand nombre d'années, mais encore la développer dans une certaine mesure ; car on peut être parfaitement certain que l'art des mines ne s'arrêtera ni devant la difficulté de traverser les morts-terrains épais qui recouvrent les combles du Nord, ni devant celles que pourront offrir à la ventilation et à l'extraction une profondeur de 1000 mètres, 1500 mètres et plus.

4° Le bassin de Mons est encore remarquable par la netteté avec laquelle la qualité des charbons y varie avec la profondeur des couches.

Ce changement a lieu d'ailleurs dans le sens qui est le plus habituellement observé, et qui semble bien en rapport avec les diverses conditions de température et de pression, auxquelles les matières ont été soumises, selon qu'elles se sont trouvées recouvertes de dépôts plus ou moins épais.

Ainsi les couches inférieures sont plus ou moins anthraciteuses, ou sèches et à flamme courte, par suite de la disparition de la plus grande partie des éléments volatils; au-dessus de ces couches

Digitized by Google

viennent les couches grasses et collantes, ou les houilles à coke, caractérisées par une plus forte proportion d'éléments votatils riches en hydrogène; puis viennent enfin les houilles flambantes et plus ou moins sèches, ou les flénus, dans lesquels les éléments volatils se chargent de plus en plus d'oxygène, et donnent lieu, à la distillation, à une moindre proportion de composés hydrocarburés.

(44) 2e Exemple. — **Bassin houiller de Liége.** — Le bassin de Liége, remarquable comme ayant été sur le continent un des premiers où la houille ait été exploitée, est un second point de renflement, ou d'épanouissement, de la grande zone houillère dont on vient de parler. Il a dû d'être exploité de très-bonne heure à cette circonstance que le terrain houiller y affleure sur beaucoup de points, au lieu d'être recouvert, comme il l'est presque partout à Mons, par des morts-terrains difficiles à traverser.

La figure 36 est une coupe faite à peu près du nord au sud, à la même échelle que le figure précédente. Elle fait ressortir, comparée à la coupe du bassin de Mons, certaines analogies et certaines différences.

La largeur du bassin n'est pas fort différente, bien que celle du bassin de Mons l'emporte un peu. Le nombre des couches exploitables y est moindre, quoique encore considérable. Les énumérations qui semblent faites le plus exactement, en donnent 116 à Mons et 83 à Liége.

On voit sur la coupe que là encore le mouvement principal qui a accidenté l'allure des couches postérieurement à leur dépôt, s'est fait sentir au sud du bassin, par un refoulement qui a produit quelques plissements. Ce mouvement a même amené le terrain inférieur en surplomb sur le terrain houiller. On peut donc encore distinguer une région de dressants et de plateaux au sud du bassin, ne présentant que les couches inférieures, à laquelle succède, en marchant vers le nord, une grande ondulation en forme de fond de bateau, qui correspond aux grands combles du Midi et du Nord du bassin de Mons, et qui renferme la série complète des couches.

La surface du sol est plus accidentée à Liége qu'à Mons; néan-

Digitized by Google

moins son relief est encore bien loin d'être en rapport avec les allures que présentent les couches de houille dans le sein de la terre. Ce relief est même moins accidenté dans la région des dressants, qu'il ne l'est plus au nord, là où les couches ont leur allure la plus régulière. Les traces de phénomènes d'érosion extrêmement puissants sont donc encore ici facilement reconnaissables. C'est grâce à ces phénomènes que dans toute la partie méridionale du bassin les couches supérieures ont été entièrement enlevées, et que des couches appartenant à la partie inférieure viennent dans la série de leurs replis, présenter une suite d'affleurements qui appartiennent alternativement à un plat et à un dressant. Entre deux affleurements consécutifs de la même couche, il arrive alternativement, tantôt que la couche existe en profondeur, tantôt au contraire que le crochon qui réunissait le plat et le dressant correspondant, se faisait au-dessus du niveau actuel du sol ; de sorte que les parties supérieures du plat et du dressant jusqu'à ce crochon, ont été enlevées par l'érosion.

La couche n'existe donc plus aujourd'hui entre les deux affleurements. C'est ce que le mineur exprime en disant que sur ce point la couche fait son crochon *en l'air*.

Les figures 35 et 36 donnent dans les parties sud des coupes qu'elles représentent, des exemples de l'une et de l'autre des dispositions ci-dessus.

On remarquera que le bassin de Liége est traversé par une série de failles parallèles à peu près à la direction du bassin, et dont la principale (celle de St-Gilles) est connue sur une très-grande longueur. Ces failles produisent leur rejet dans le sens de l'angle obtus, ou conformément à la règle de Schmidt.

L'exploitation du bassin de Liége, par suite de son ancienneté, ainsi que par le moindre développement du bassin, n'a pas le même avenir que celle du bassin de Mons ; néanmoins il y existe encore de grandes richesses.

On ne distingue pas, dans la série des couches, la même succession régulière de qualités que dans le bassin de Mons. La quantité des charbons gras propres à la fabrication du coke y est proportionnellement beaucoup plus grande ; ou, en d'autres termes,

Digitized by Google

les couches anthraciteuses et les couches sèches à longues flammes n'y sont pas développées comme à la base et au sommet du bassin de Mons.

(45) 3e Exemple. — **Bassin houiller de Newcastle (Nord de l'Angleterre).** — Ce bassin houiller, un des plus considérables de l'Angleterre, est remarquable plutôt par sa grande étendue que par le nombre de ses couches. On n'en compte guère, en effet, qu'une vingtaine d'exploitables dans l'ensemble du bassin, et généralement pas plus d'une douzaine *en un point donné de ce bassin ;* mais elles sont plus puissantes que dans les bassins de Mons et de Liége. Leur puissance moyenne dépasse sensiblement 1 mètre ; celle des deux principales (High-Main et Low-Main) atteint 2 yards ($1^m,82$). Ces conditions d'épaisseur sont, comme on le verra plus loin (chapitre XI), éminemment favorables à l'exploitation.

En outre, le terrain houiller est peu dérangé de la position horizontale ; ce qui est encore une circonstance favorable à l'exploitation, tant au point de vue du prix de revient qu'à celui de l'importance possible de la production journalière, dans un champ d'exploitation d'une étendue donnée.

Enfin, les roches encaissantes y sont généralement assez solides pour ne demander dans l'exploitation qu'une dépense en bois de soutènement très-faible, relativement à celle qu'on doit faire, en Belgique surtout, dans les dressants.

Le terrain est fréquemment coupé par des failles, ou dykes, dirigés est-ouest. Le plus remarquable d'entre eux est le Ninety-Fathoms-Dyke, ou Main-Dyke, qui rejette verticalement les couches de plus de 160 mètres. Il offre un nouvel exemple de la grandeur sur laquelle ont agi, comme on l'a déjà fait observer à plusieurs reprises, les phénomènes d'érosion. Il est clair, en effet, qu'à la suite de la formation de ce rejet, la surface du sol devait présenter un grand escarpement de pareille hauteur, formé par la roche du mur. Or cet escarpement a aujourd'hui entièrement disparu, à tel point que des deux côtés de la faille la surface du sol est absolument de niveau et recouverte par les eaux d'un même marais.

La figure 37 donne une coupe partielle, du nord au sud, du bassin

Digitized by Google

houiller de Newcastle. On y remarquera la régularité de l'allure des couches, comparée à l'allure si tourmentée des bassins de Liége et de Mons. Le grand dyke dont il vient d'être parlé est figuré sur la coupe.

(46) 4e Exemple. — **Bassin houiller du Gard (concessions de la Grand'Combe).** — La figure 38 est une coupe faite suivant une ligne brisée, dirigée en moyenne du N.-O. au S.-E., à travers la principale région du bassin houiller du Gard, qui repose au nord, à l'est et à l'ouest sur le micaschiste, et disparaît au sud, en s'épanouissant sous le terrain de Trias.

Ce terrain houiller, semblable en cela à beaucoup de ceux du Centre et du Midi de la France, diffère de ceux de la Belgique et des départements du Nord et du Pas-de-Calais, par les caractères lithologiques et par la manière d'être des couches. Les grès et les poudingues y sont beaucoup plus abondants, et les schistes, au contraire, beaucoup plus rares.

Les couches de houille y sont moins nombreuses, mais individuellement beaucoup plus puissantes.

C'est ainsi que dans les mines de la Grand'Combe on peut distinguer nettement deux étages, séparés par un grand intervalle de 300 mètres, formé principalement de couches de grès et presque absolument stérile.

L'étage inférieur ne contient que 3 couches, mais dont l'une a 11 mètres d'épaisseur.

L'étage supérieur en contient 11.

La puissance totale de ces 14 couches dépasse 30 mètres, et donne par conséquent, *par mètre carré de terrain houiller*, une richesse inférieure à celle des bassins houillers de Mons et même de Liége, mais *supérieure à celle du bassin houiller de Newcastle*. Cependant l'étendue occupée par les couches et, en définitive, la richesse totale du bassin sont moindres que celle de ces autres bassins, tout en ayant, pour l'industrie du Midi de la France et du littoral de la Méditerranée, une très-grande importance.

On remarquera sur la coupe que l'allure des couches est généralement assez régulière dans la partie occidentale du bassin. Cette

Digitized by Google

partie est séparée de la région orientale par un très-grand accident, qui, en marchant de l'ouest à l'est, doit être regardé comme un rejet en bas, amenant l'étage supérieur en face de l'étage inférieur, et produisant ainsi une dénivellation de 300 mètres.

On voit encore sur la coupe que ce grand rejet est en relation avec un dressant qui affecte seulement les couches de l'étage inférieur, le dressant qui a dû affecter aussi celles de l'étage supérieur ayant été enlevé par érosion dans le plan de la figure.

(47) 5e Exemple. — **Bassin houiller de Ronchamp.** — Le bassin houiller de Ronchamp (Haute-Saône) est déposé au pied méridional des Vosges. Il n'affleure que dans la partie Nord, et disparaît bientôt au sud sous le nouveau grès rouge et sous le trias.

Quoique beaucoup moins développé que les bassins précédents, il a une assez grande importance locale, à cause du voisinage de la région industrielle de Mulhouse.

Il ne contient que deux couches de houille, et encore la couche inférieure n'existe-t-elle pas partout. Elle a, au contraire, un caractère sporadique assez prononcé ; ce qui peut sembler attribuable à ce qu'étant très-voisine de la base du terrain houiller, elle s'est formée à une époque où les inégalités du terrain ancien sur lequel repose le terrain houiller, n'étaient pas encore partout recouvertes par le nouveau dépôt en cours de formation.

La coupe (*fig.* 39) représente plusieurs protubérances, ou gibbosités, dont deux principales sont l'intersection par le plan de la coupe de deux accidents à peu près parallèles à la direction des couches, qui ont été successivement franchis par l'exploitation, à mesure que celle-ci s'est développée en profondeur. Ces protubérances semblent devoir être considérées comme postérieures au dépôt, ou tout au moins comme s'étant accentuées depuis le dépôt, à cause de la manière dont les couches s'y contournent à leur approche.

On ne sait encore ce que deviennent en aval pendage les couches rencontrées au delà de la seconde de ces protubérances.

La coupe de la figure 39 est tracée, comme les précédentes, à l'échelle de 1 à 25000, afin de faciliter, à la seule inspection des

Digitized by Google

figures, la comparaison entre le développement des divers bassins houillers dont on vient de parler.

Les exemples ci-dessus, dont on pourrait beaucoup multiplier le nombre, suffiront pour montrer, en restant dans les termes généraux où nous avons à nous tenir, sous quels aspects variés, aux points de vue de l'étendue, du nombre et de la puissance, ainsi que des principales circonstances de leurs allures, peuvent se présenter les couches de houille, considérées comme types des *gisements en couches* (*).

(48) 6e Exemple. — **District métallifère du Przibram (Bohême).** — Comme exemple de gisements en filons, formant un système complexe, nous citerons d'abord le district de Przibram, en Bohême, qui, abandonné après une exploitation plusieurs fois séculaire, a été repris en 1848 par le gouvernement autrichien. Il occupe actuellement plusieurs milliers d'ouvriers, et certaines mines y atteignent déjà des profondeurs de plus de 800 mètres..

Les nombreux filons de ce district affectent des directions variables, se rapportant à quatre orientations principales, savoir N. 43° O., N. 10° O., N. 8° E., N. 24° E. Les filons paraissent s'être produits dans l'ordre ci-dessus, chacun de ces systèmes étant généralement rejeté, en cas de croisement, par le système suivant.

Ces filons appartiennent très-nettement au type des filons concrétionnés, ainsi que le montre leur structure en zones parallèles aux salbandes, dont la superposition indique l'ordre d'arrivée ou de dépôt des diverses matières. Sur quelques points, les minerais, au lieu d'être nettement séparés, constituent avec la gangue quartzeuse des mélanges intimes formant une sorte de quartzite imprégné de sulfures métalliques, caractère indiquant un remplissage rapide par une dissolution saturée, qui se serait immédiatement déposée, et, pour ainsi dire, figée en une sorte de masse confuse. La composition du remplissage est très-complexe, et ne présente pas moins de soixante-quatre combinaisons différentes, que l'on peut classer

(*) On peut consulter, sur ce sujet intéressant, outre les nombreuses monographies insérées dans les *Annales des mines* et autres recueils spéciaux, la publication de M. A. Burat, intitulée *les houillères de la France en* 1866.

Digitized by Google

en trois périodes de remplissage : la première caractérisée par une venue de sulfures métalliques avec gangue quartzeuse, la seconde par la venue d'une gangue barytique, et la troisième enfin par la venue d'une gangue calcaire, dont le dépôt tardif est démontré par la manière dont cette gangue enveloppe souvent les fragments anguleux provenant de la rupture du remplissage antérieur.

Les filons présentent, à l'affleurement, des chapeaux de fer souvent très-caractérisés, et, en profondeur, des traces fort nettes d'oxydation jusqu'à plus de 200 mètres du jour. Ils réunissent ainsi, comme on voit, toutes les circonstances principales que nous avons énumérées au chapitre précédent, et qui en font un ensemble de gisements d'un caractère en quelque sorte classique.

Les figures 40 et 41 représentent en plan et en coupe une des mines principales du pays (la mine Maria-Adalbert). La coupe offre un bon exemple d'un réseau de filons diversement ramifiés, et le plan montre dans quelle mesure on doit concevoir *la direction rectiligne d'un filon, et le parallélisme de deux filons donnés* (*).

(**49**) 7e Exemple.—**District métallifère de la Saxe ou Erzgebirge.** — Les filons de l'Erzgebirge constituent un autre exemple, non moins classique, et plus étendu et plus complexe que le précédent, d'un grand système de filons.

L'Erzgebirge constitue un massif montagneux, se terminant, du côté du sud, par une pente abrupte, au pied de laquelle s'étendent les terrains tertiaires de la Bohême, et formant au nord un plateau légèrement ondulé de gneiss ou de schistes micacés et argileux. Ce massif est sillonné en divers sens, ou terminé à son pied par les roches éruptives les plus diverses (granites, diorites, porphyres, roches trachytiques et basaltiques, etc.), appartenant à des âges fort différents. Cette diversité indique évidemment que, dans cette région, l'équilibre de l'écorce terrestre a été soumis à de fréquentes perturbations, et que beaucoup de phénomènes de soulèvement, se produisant sur des points plus ou moins éloignés et à diverses époques, y ont eu un certain retentissement; retentissement dont on retrouve

(*) Voir *Annales des mines*, 1re livraison de 1869, un mémoire de MM. Michel Lévy et Choulette.

Digitized by Google

en quelque sorte le dernier écho, dans de nombreuses sources thermales, en relation évidente avec les roches éruptives les plus récentes.

Cette diversité et cette succession de phénomènes expliquent, à la fois, le très-grand nombre des filons que présente cette région, et leurs remplissages très-variés et très-complexes, dus à leurs nombreuses réouvertures.

La figure 42 est un plan, à échelle réduite, de l'ensemble des filons au voisinage immédiat de Freyberg. Une longue suite d'observations a conduit à classer ces filons, suivant trois orientations principales faisant des angles de 8, de 24 et de 64° avec la ligne N. S. (du côté de l'est), et deux orientations relativement rares faisant des angles de 49 et de 80°.

Le système à 24° est le plus important, soit par lui-même, soit par son influence enrichissante lorsqu'il rencontre les autres systèmes. Il occupe une zone de plus de 15 kilomètres de longueur sur 3 kilomètres de largeur.

En outre, on distingue quatre directions de filons croiseurs, beaucoup moins suivis que les précédents et orientés d'une manière essentiellement différente, puisque ces directions, à 99°, 116°, 126°, et 160°, font toujours un angle obtus avec la ligne N. S.

Les premiers filons présentent une série de périodes de remplissage dans laquelle on peut distinguer huit termes successifs. Le premier, ou le plus ancien, est caractérisé par l'arrivée des sulfures métalliques (blende, galène plus ou moins argentifère, pyrite de fer et misspickel), et le dernier par l'arrivée des minerais d'argent. Le premier semblerait contemporain du trias, et le dernier serait de l'époque tertiaire la plus moderne.

Ainsi, ces ébranlements successifs se seraient reproduits pendant la longue période des terrains secondaires et tertiaires, et peut-être même étendus à la période quaternaire.

Les premiers produits métalliques importants correspondraient à cette époque triasique, qui semble avoir été partout une période remarquablement métallifère, et les derniers produits, caractérisés par l'abondance relative des métaux précieux, seraient *très-modernes*, quoique situés dans les terrains très-anciens de la Saxe, comme



Digitized by Google

paraissent l'être généralement en Amérique les produits similaires.

Si l'on jette les yeux sur la figure 42, on comprendra comment un réseau aussi étendu et aussi complexe de cassures a pu donner lieu, dans le passé, aux nombreux phénomènes de croisements, de réouvertures, de remplissages successifs que le mineur y observe ; on comprendra, en même temps, comment ce qui a été *un effet* dans le passé, peut devenir *une cause* dans l'avenir; c'est-à-dire qu'un district qui a été le théâtre de tant de dislocations successives est d'autant plus préparé, par cela même, à ressentir encore le contre-coup des ruptures nouvelles d'équilibre qui viendraient à se produire dans un rayon suffisamment rapproché.

(**50**) 8e Exemple. — **District de Cornouailles.** — Le district métallifère du Cornouailles (Angleterre) se distingue de l'Erzgebirge par la nature des produits, qui sont des minerais de cuivre et d'étain (au lieu d'être principalement des minerais donnant du plomb et de l'argent), et par une plus grande simplicité d'allure des gîtes exploités.

On y retrouve d'ailleurs les mêmes conditions générales : notamment une relation évidente, quant à leur position et à leur orientation générale, avec diverses masses granitiques alignées à peu près sur la ligne N. 25° E.; des relations également déterminées entre la richesse des veines et la nature des roches encaissantes; enfin, un certain changement de nature avec la profondeur, consistant en général dans l'augmentation relative du minerai de cuivre par rapport au minerai d'étain.

La figure 43 est une coupe faite, à la même échelle que la figure 40, dans une des principales mines du Cornouailles (Fowey Consols).

En rapprochant ces deux figures, on fait ressortir une bien grande analogie dans la disposition générale que présente l'ensemble des filons, exploités en deux points fort éloignés l'un de l'autre, et où les gisements paraissent s'être créés d'une manière indépendante.

On peut regarder ces deux figures comme constituant une sorte de type, duquel se rapprocheront plus ou moins les allures que l'on devra s'attendre à rencontrer dans un groupe de filons métallifères bien développés.

Digitized by Google

Les mines du Cornouailles sont exploitées depuis très-longtemps. Dès l'époque la plus reculée, les Phéniciens tiraient du Cornouailles de l'étain, obtenu en traitant le minerai d'alluvion, qu'on exploite encore aujourd'hui sur quelques points ; ensuite est venue l'exploitation souterraine, d'abord pour étain et ensuite pour cuivre.

Beaucoup de ces mines sont intéressantes par l'ampleur de leurs installations, surtout en ce qui concerne l'épuisement. C'est dans ce district que la vapeur a été d'abord employée à ce travail d'épuisement sur une grande échelle, et que, par une longue suite d'études, les machines à vapeur ont reçu un grand nombre de perfectionnements, et ont finalement constitué le type connu sous le nom de *machines du Cornouailles*.

(51) 9e Exemple. — **Gîte de Montchanin (Saône-et-Loire).** — Comme exemple de gîte *en amas*, on peut citer la houillère de Montchanin, qui appartient à la partie méridionale du grand bassin houiller du département de Saône-et-Loire.

L'amas principal exploité s'est présenté sous la forme d'un renflement ayant environ 600 mètres en direction, 50 mètres et plus de puissance au milieu, et 150 mètres suivant l'inclinaison, plongeant vers le nord sous un angle d'environ 70°. Les coupes horizontales (*fig.* 44), prises à deux profondeurs différentes, donnent une idée de l'allure remarquable de ce gîte.

Il a été reconnu que cet amas principal était accompagné d'autres amas secondaires situés dans le même plan général de stratification, l'ensemble n'étant autre chose, en définitive, qu'une grande couche, ou qu'une série de couches très-rapprochées l'une de l'autre, qui, sur d'autres points du bassin, ont leur allure réglée, et qui, à Montchanin, ont pris une *structure en chapelet*, remarquable par l'ampleur inusitée avec laquelle cette structure s'est dessinée.

On aura une notion exacte de la disposition qu'affecte le gîte principal de Montchanin, en se le représentant comme un gros renflement ou *bouillard*, une grande *couflée*, produite, sur un ensemble de couches séparées par de minces bancs de schiste, par le mode d'action qui a été indiqué au n° 16. L'amas en question rentre donc entièrement, quant à son origine, dans la classe des

Digitized by Google

gisements en couches. Ce gisement est *une couche disposée en chapelet*, si on le considère dans son ensemble ; c'est *un amas*, si l'on considère spécialement le gros renflement dont nous venons de parler.

La disposition indiquée pour Montchanin se retrouve au Creusot, situé sur le versant nord du même bassin houiller.

Cette allure n'est d'ailleurs, dans l'ensemble du bassin, qu'une circonstance locale, puisqu'on retrouve sur d'autres points, spécialement à Blanzy, des couches de houille bien réglées, ou qui du moins ne sont accidentées que par des failles nettes, n'altérant pas en général leur puissance et ne rappelant aucunement la structure en chapelet.

(52) 10e Exemple. — **Gîte de Mokta (Algérie).** — Le gisement de Mokta el Hadid (Algérie), exploité depuis quelques années, et qui, en 1872, a fourni 372,000 tonnes de minerai de fer, exportées en totalité par le port de Bône, s'est présenté sous la forme d'un gros amas affleurant à la surface sur le flanc d'une colline, et paraissant en stratification concordante avec les schistes anciens grenatifères, sur lesquels on le voyait reposer. La traversée horizontale du toit au mur a sur certains points jusqu'à 130 mètres de longueur ; mais en réalité l'amas peu incliné a une puissance de 15 à 20 mètres ; il présente, en coupe horizontale, une forme grossièrement elliptique, ayant une surface moyenne d'un peu plus d'un hectare. Il est reconnu avec cette allure sur une hauteur verticale d'une centaine de mètres.

Cet amas n'est en réalité qu'un renflement accidentel d'une couche qui a été déjà suivie en galerie sur un millier de mètres au N.-O., avec une puissance moyenne de 5 mètres, et qui s'étend probablement aussi du côté opposé, vers l'ouest ou le S.-O.

Cette couche est subordonnée à une grande assise calcaire qui se trouve intercalée dans le terrain schisteux, la seconde, en allant du mur au toit, des 5 ou 6 assises de même nature qui se répètent dans l'épaisseur connue de la formation schisteuse. Le minerai de fer semble ne constituer dans l'assise calcaire que des amas lenticulaires étendus, contemporains du dépôt, comme si de divers points

Digitized by Google

du bassin dans lequel le terrain se formait, étaient sorties des sources ferrugineuses plus ou moins abondantes. L'amas de Mokta se serait formé au voisinage d'un de ces points d'émergence.

Le gîte dont il s'agit se trouve représenté sur d'autres points de l'Algérie, notamment aux Kharézas, sans qu'on puisse aucunement affirmer la continuité du gîte entre ces deux points, distants d'une vingtaine de kilomètres. On pourrait même penser que la discontinuité est la circonstance matérielle la plus vraisemblable, malgré l'analogie évidente et le synchronisme très-probable des deux formations.

C'est dans une situation géologique tout à fait analogue que paraissent se trouver les gîtes de Sardaigne, probablement ceux de l'Anjou, ceux de Suède, ceux du lac supérieur, etc.; de sorte que la formation de ces terrains anciens paraîtrait avoir été accompagnée, sur divers points, d'émissions ferrugineuses considérables, analogues à celles qui se sont produites à d'autres époques; ces divers gisements seraient donc identiques au point de vue du mode de formation, (quoique fort différents par le facies, à cause des phénomènes de métamorphisme auxquels ils ont été exposés, et différents aussi par une teneur habituellement plus forte et par une qualité supérieure) aux minerais qu'on connaît dans les terrains secondaires, tels, par exemple, que ceux du N.-E. de la France, dont nous avons parlé plus haut (n° 41), et qui se retrouvent encore sur d'autres points en très-grande abondance, notamment en Angleterre, dans le Cleveland.

(53) 11e Exemple. — **Gîte du Stahlberg près Mussen.** — Comme autre gisement de minerai de fer en amas, nous citerons le célèbre gisement de fer spathique du Stahlberg, représenté en coupe fig. 45; gisement remarquable, comme le précédent, par la qualité du minerai, fournissant la fonte dite spéculaire (*Spiegel Eisen*), à laquelle le grand développement donné dans ces dernières années au procédé Bessemer assure un débouché spécial.

(54) 12e Exemple. — **Gisement de fer fort de Saint-Pancré (Moselle).** — Dans le même pays, où s'étend l'immense gisement

Digitized by Google

de minerai de fer mentionné au n° 41 ci-dessus, on en trouve d'autres qui en diffèrent essentiellement, par leur âge qui est beaucoup plus récent, par le mode de formation, par leur étendue qui est relativement limitée, ainsi que par leur richesse et par leur qualité qui sont supérieures.

Ces gîtes sont des amas, ou plutôt une série d'amas, disposés dans des cavités, ou répandus à la surface, dont l'origine est exactement celle des minerais improprement nommés d'alluvion, décrite au n° 39.

Au lieu d'avoir un gisement *en couche*, comme l'hydroxyde oolithique dont nous avons parlé, on a un gisement *en amas*, dont le mécanisme de formation est plutôt analogue à celui *d'un filon*.

Aussi le premier gisement, l'hydroxyde oolithique, a-t-il tendance à donner des fers *à grain*, à cause du phosphate de chaux contenu dans les fossiles qu'on y observe assez fréquemment, et les seconds au contraire à donner des fers *à nerf*, à cause du soufre que contiennent en général ces minerais de fer en amas.

La figure 46 représente une coupe horizontale de l'un d'eux, celui de Saint-Pancré. On voit comment les diverses poches, ou cavités, dont se compose le gîte, ont, dans leur irrégularité, une certaine tendance à s'aligner dans des directions déterminées. On doit considérer que ces poches ainsi alignées étaient des fentes qui ont été remplies par dissolution ; qu'elles constituent ainsi, quant à l'origine, de véritables filons; que la structure en chapelet est due à ce que les roches encaissantes pouvaient varier de *solubilité*, ou les liqueurs acides qu'elles contenaient de *composition*, d'un point à un autre, et produire ainsi une ou plusieurs séries d'amas, ayant des dimensions très-variables, et reliés les uns aux autres par des couloirs plus ou moins étroits.

(**55**) Les divers exemples ci-dessus (n°s 43 à 54) montrent comment se présentent des gisements en couches, des gisements en filons, et enfin des amas, ayant soit l'origine d'une couche, soit l'origine d'un filon, mais qui en diffèrent en ce qu'ils n'en ont pas les caractères géométriques.

On voit quelle extrême variété ces gisements peuvent offrir, soit

Digitized by Google

quant à leur étendue, soit quant aux détails de leurs allures, et l'on conçoit que pour apprécier la valeur d'un gisement donné, aucune considération théorique *a priori* ne puisse suppléer à l'observation directe des faits.

La marche à suivre pour cette observation, et la juste appréciation des conséquences à déduire des faits constatés, sont des choses avec lesquelles les ingénieurs doivent arriver à se familiariser. La première peut être systématiquement exposée, comme on le verra ci-après ; mais la seconde est éminemment *personnelle à l'ingénieur;* elle suppose des connaissances théoriques générales, une certaine sagacité naturelle, et aussi une expérience acquise à laquelle rien ne peut suppléer.

J'insiste sur ce dernier point, et je considère que l'éducation d'un ingénieur n'est complète, au point de vue qui nous occupe, que quand il a vu, *par lui-même et dans le dernier détail*, un grand nombre et une grande variété de gisements.

Digitized by Google

# CHAPITRE III

## DES TRAVAUX D'EXPLORATION ET DE RECHERCHES EN GÉNÉRAL

(56) Nous avons vu, dans les deux chapitres précédents, quelle est l'origine à attribuer aux différents gîtes de substances minérales, et quelles sont, comme conséquences de cette origine, ainsi que des accidents nombreux auxquels ces gîtes ont été exposés, soit pendant soit après leur formation, les circonstances très-variées que leur allure peut présenter.

Quoiqu'il soit vrai de dire que la découverte des mines, au moins des mines depuis longtemps en exploitation, ait été due le plus souvent à des indices extérieurs que le hasard a fait apercevoir, il nous est permis aujourd'hui de regarder que, dans l'état actuel de l'art, nous sommes en possession d'un certain nombre de données au moyen desquelles le mineur peut, s'il est permis de s'exprimer ainsi, *aider le hasard*, et procéder systématiquement et rationnellement aux travaux qui le conduisent, d'abord à la constatation de *l'existence matérielle d'un gîte en un point donné;* puis, ce qui n'est pas moins indispensable, à la reconnaissance *de son degré d'exploitabilité.*

Nous désignerons sous le nom de *travaux d'exploration* ceux que le mineur entreprend pour arriver à la constatation matérielle du gîte, et sous celui de *travaux de recherche* ceux qu'il fait ensuite sur ce gîte lui-même, et qu'il doit faire en général, pour décider si ce gîte est susceptible d'être exploité utilement.

Digitized by Google

### § 1er. — Des travaux d'exploration.

(57) L'exploration d'une région donnée ne peut être entreprise sans qu'on ait préalablement quelque indice qui la motive; car, sauf les matériaux communs, pour les constructions les plus ordinaires, les substances minérales auxquelles s'applique l'art des mines sont parcimonieusement distribuées dans la nature, et en un point donné de la surface du globe, on est autorisé à supposer, *a priori*, que ces substances n'existent pas.

Les indices plus ou moins prochains de leur existence peuvent être déduits :

1° De la connaissance de la constitution géologique du pays ;

2° De la présence à la surface du sol de fragments de gangue ou de minerai ;

3° De la présence d'affleurements ;

4° De traces matérielles ou de traditions d'anciens travaux ;

5° Enfin, de l'existence de gîtes actuellement en exploitation dans le voisinage.

Il convient d'entrer dans quelques détails sur la valeur à attribuer à chacune de ces indications.

(58) La constitution géologique du terrain fournit des indications tantôt *positives* et tantôt *négatives*.

Il est clair, par exemple, que l'existence d'un terrain igné, tel que le granite, en un point donné, est exclusive de la présence de la houille *en ce même point*; mais cette conclusion ne vaut que *pour le point même que l'on considère*, et l'on sait, par exemple, qu'en France un grand nombre de bassins houillers, plus ou moins développés, sont distribués sur le plateau primitif central, et reposent ainsi soit sur le granite même, soit sur des terrains anciens de gneiss ou de micaschiste.

Comme exemple *d'une indication positive*, on peut dire, au contraire, que l'existence *du terrain houiller proprement dit* peut faire présumer celle de la houille. Il est rare, en effet, à moins qu'il ne

Digitized by Google

s'agisse d'un lambeau de terrain insignifiant, qu'un terrain houiller ne contienne pas quelque couche de houille exploitable, et nous avons vu par l'exemple des terrains houillers de la Belgique, qu'il en contient parfois un très-grand nombre.

On peut dire encore que l'existence du terrain permien peut faire présumer la présence du cuivre; celle du trias et plus spécialement des marnes irisées, la présence du sel gemme (du moins dans le N.-E. de la France); celle des marnes supraliasiques le voisinage du minerai de fer (N.-E. de la France, le Cleveland en Angleterre, etc.). C'est à la géologie qu'il appartient évidemment de fournir ces indications, qui, à cause de leur généralité même, n'ont, par elles seules, pour le mineur, qu'une valeur pratique secondaire.

(**59**) La présence à la surface du sol de fragments de matières utiles, ou même seulement de matières stériles connues pour accompagner souvent les premières, est un indice qui mérite de fixer l'attention. Lorsqu'on explore un pays, on doit examiner les parties dénudées, les escarpements, les flancs des vallées, etc., et très-particulièrement les ravins et les lits des divers cours d'eau.

En se plaçant dans le lit d'un torrent, on trouve, en chaque point, en quelque sorte, une collection des échantillons minéralogiques provenant de toute la région située en amont. Chaque espèce minéralogique a sa valeur propre, au point de vue qui nous occupe. Dans un terrain de schiste micacé, par exemple, on attachera peu d'importance à des fragments de quartz à cassure simplement résineuse ou même saccharoïde, cette substance étant très-fréquemment intercalée en rognons dans les feuillets des schistes. Du quartz nettement cristallisé méritera plus d'attention.

Des matières étrangères à la constitution même de la roche, et connues pour être assez habituellement des gangues de filons, telles que de la chaux carbonatée ou fluatée, de la baryte sulfatée, etc., en mériteront encore davantage.

Il en sera de même, *a fortiori*, si, en concassant ces morceaux, on y trouve quelque mouche de pyrite ou de galène, ou quelque trace de coloration verte due à la décomposition d'un minerai de cuivre, etc.

Quand on se livrera à ces observations, on devra remonter pas à

Digitized by Google

pas les lits des torrents, en soumettant les galets et les sables à un examen attentif et minutieux, pour tâcher de voir jusqu'à quelle hauteur se montrent les fragments dont la nature spéciale a éveillé l'attention, et d'arriver ainsi à reconnaître de quel point ils proviennent. On pourra juger de l'éloignement de ce point d'après la forme plus ou moins arrondie des fragments, considérée en ayant égard à leur dureté.

Ce point trouvé, il restera encore à examiner si les matières observées n'ont pas dans la roche un caractère purement adventice, ou s'ils appartiennent à un gisement qui semble avoir quelque développement. Cette vérification est tout à fait essentielle; car le premier cas est peut être celui qui se présente le plus habituellement à l'observateur.

Les sources minérales donnent, relativement aux matières solubles, des indications analogues à celles que fournissent les fragments de roches pour les matières insolubles. C'est ainsi que des sources salées, ou chargées de chlorure de sodium, ont conduit dans l'Est de la France, notamment dans la Meurthe, à la découverte de bancs puissants de sel gemme qui y sont aujourd'hui activement exploités.

(**60**) Si l'on est arrivé par une observation directe, ou en procédant comme il vient d'être dit au n° précédent, à constater la présence d'un affleurement, cet affleurement devra être l'objet d'un examen spécial. *D'une nature différente* de celle de la roche encaissante, et soumis à *l'action des mêmes agents atmosphériques*, le filon n'aura pas résisté de la même manière. Il se dessinera souvent à la surface du sol, soit en creux, soit en relief, selon que sa dureté est moindre ou plus grande que celle de la roche encaissante. C'est ainsi qu'on voit des filons durs et quartzeux se projeter au-dessus de la surface du sol sous la forme de murs saillants de plusieurs mètres de hauteur, qui se suivent parfois sans interruption sur des centaines de mètres. Ces affleurements sont un indice certain de la présence d'un filon ; mais ils ne donnent, en général, aucune indication sur sa richesse, les matières métalliques ayant généralement été oxydées et enlevées à l'état de sels solubles et ne laissant souvent

Digitized by Google

d'autre résidu qu'un précipité ocreux, dont l'abondance peut, dans certains cas, faire présumer celle de certains minerais sulfurés, tels que les pyrites de fer ou de cuivre, que le gîte contenait originairement.

Souvent aussi ce précipité ocreux fait lui-même défaut, et l'affleurement donne à peine, par quelques faibles colorations accidentelles, l'indication de sa richesse métallique primitive. Fût-il même absolument stérile, un affleurement qui présente un certain caractère de continuité mérite, par cette seule circonstance, de donner lieu à des travaux de recherche. Aussi, dès qu'on est tombé sur un point d'affleurement, le premier soin doit-il être de s'assurer si cette continuité existe.

Dans le cas où elle ne serait pas apparente à la surface, on fera quelques fouilles pour chercher à reconnaître la direction et l'inclinaison du gîte, et en conclure, en tenant compte du relief du sol, l'orientation approximative de la ligne d'affleurement. On jalonnera cette ligne, et l'on cherchera à découvrir d'autres points d'affleurement, en creusant de distance en distance des tranchées perpendiculaires à sa direction présumée, et poussées jusqu'à ce qu'on ait le rocher en place.

Quand on aura ainsi déterminé au moins trois points de l'affleurement, un peu éloignés les uns des autres et situés à des niveaux différents, un plan passant par ces trois points, s'il s'agit d'un filon ou d'une couche, pourra être pris, provisoirement et sous réserve des accidents d'allure que le gîte présenterait entre ces trois points, comme représentant la position du gîte dans le sein de la terre, et servir de base pour étudier un projet de travaux de recherches à faire sur le gîte en profondeur.

S'il s'agit d'un amas ayant ses deux dimensions horizontales comparables, les fouilles préliminaires devront être conduites de manière à le circonscrire dans tous les sens.

(61) Il peut arriver que la présence du gîte soit accusée, non pas par un affleurement dont on puisse matériellement constater l'existence, mais par la trace de vieux travaux qui ont enlevé cet affleurement, se sont plus ou moins étendus en profondeur, et ne sont

Digitized by Google

plus apparents à la surface que par des excavations plus ou moins irrégulières, et par des *haldes*, ou amas de matières stériles, provenant du triage des minerais exploités par les anciens.

Ces indices peuvent être complétés par des amas de scories provenant du traitement métallurgique, par des ruines de bocards ou de fourneaux, et enfin par des traditions plus ou moins précises, sur ce qui a été fait autrefois, et sur les causes de l'abandon des travaux.

Cet ensemble de données mérite d'être examiné avec attention et avec prudence. Les résidus des haldes et les scories donneront, aux points de vue minéralogique et métallurgique, des indications sur la nature des minerais et des gangues.

On tâchera de pénétrer dans les vieux travaux, non pas tant pour trouver le minerai en place (car il a été en général très-exactement enlevé par les anciens), que pour prendre une idée générale de l'allure du gîte.

Enfin, on devra chercher à se rendre compte, autant que les traditions le permettent, des véritables causes de l'abandon de ces travaux. Souvent la tradition est entièrement muette à ce sujet, ou ne fournit que des indications très-vagues, auxquelles on ne peut reconnaître aucun caractère d'authenticité ou de précision.

C'est ainsi qu'on trouve en Espagne des traces d'anciens travaux immenses attribués aux Phéniciens; qu'en Grèce on a récemment établi des usines importantes, principalement en vue de repasser les anciennes scories plombeuses, provenant du traitement des minerais exploités pendant plusieurs siècles par la république d'Athènes. C'est ainsi encore qu'en France les travaux sur lesquels il n'existe aucune tradition positive sont uniformément attribués aux Romains, bien que l'industrie des mines paraisse avoir été exercée par les Gaulois antérieurement à la conquête. D'autres plus modernes sont réputés, dans le pays, faits par les Anglais, et passent pour avoir été abandonnés, soit pendant la guerre de cent ans, soit ultérieurement pendant les guerres de religion. Ce dernier cas paraît être, par exemple, celui d'un certain nombre de mines métalliques de l'Aveyron, pour l'exploitation desquelles on avait fait venir des Allemands, qui ont été expulsés, après la Saint-Barthélemy, en leur double qualité d'étrangers et de protestants.

Digitized by Google

Lorsque l'abandon n'est pas dû aux événements politiques, on doit se demander s'il est dû à l'épuisement ou à l'appauvrissement des gîtes en profondeur, ou aux difficultés matérielles, telles que celles de l'asséchement, qui ont été en croissant avec l'étendue et avec la profondeur des travaux. On peut dire qu'aujourd'hui on a des moyens, qu'on ne possédait pas alors, soit pour la préparation mécanique des minerais pauvres et finement disséminés dans la gangue, soit pour l'extraction de ces minerais ou pour l'asséchement des travaux; on peut dire aussi que l'emploi de la poudre a apporté, dans l'exploitation proprement dite, une grande économie. Mais ces circonstances favorables peuvent être compensées, et au delà, par un seul fait d'une importance considérable : l'énorme augmentation survenue dans le prix de la main-d'œuvre.

On ne répond point à cette dernière observation, en disant que les choses n'ont qu'une valeur relative, et qu'il importe peu que le taux des salaires ait augmenté, si *une augmentation proportionnelle* s'est fait sentir sur tous les autres objets dont les hommes peuvent trafiquer entre eux.

En réalité, cette proportionnalité n'existe pas, en ce qui concerne la main-d'œuvre. Au moyen âge, par exemple, elle était abondante, ou *offerte ;* au contraire, les métaux étaient rares, ou *demandés*. C'est l'inverse qui a lieu aujourd'hui, et la loi économique générale qui relie ces deux termes : *l'offre et la demande*, loi dont on peut bien fausser l'action par la violence, mais momentanément, cette loi, disons-nous, n'a pu manquer, avec le temps, de produire ses effets naturels et réguliers.

L'examen des circonstances dans lesquelles les travaux d'une mine ont été abandonnés, demande donc à être fait avec beaucoup de discernement. Il est certain que plus d'une fois cet abandon a eu lieu, purement et simplement, par suite du renchérissement survenu dans la main-d'œuvre, ou ce qui, économiquement parlant, revient absolument au même, par suite de l'avilissement relatif survenu dans le prix des métaux.

C'est ce dernier effet qui s'est produit spécialement pour l'argent, lors de la découverte de l'Amérique, et qui a fait alors abandonner tant de mines en Europe. C'est lui qui est encore en voie, quoiqu'on

Digitized by Google

fasse, de se produire peu à peu pour l'or, depuis qu'on l'exploite si largement en Californie et en Australie.

Ainsi, on doit considérer que telle mine a pu être autrefois exploitée avec avantage, qui ne saurait l'être aujourd'hui, quand même on la supposerait encore vierge, et qu'il ne s'agirait que d'exécuter aujourd'hui les travaux qui ont été faits alors. J'insiste sur ce point, parce que l'on est souvent trop disposé à s'exagérer les conséquences des progrès techniques réalisés par l'art des mines, et à croire que ce qui a été *fait par les anciens* peut être, *par cela même et a fortiori*, fait par nous. Cela est évident *au point de vue matériel;* mais comme encore aujourd'hui, malgré l'extension donnée à l'emploi des moyens mécaniques, la main-d'œuvre directe entre bien encore pour la moitié, sinon pour les deux tiers ou même plus, dans la valeur du produit; il peut très-bien n'en être pas de même *au point de vue économique*, si la dépense en main-d'œuvre, rapportée à une quantité donnée du produit obtenu, a crû plus rapidement que la valeur vénale de cette quantité. Telle mine d'argent, par exemple, a pu être exploitée autrefois avec benéfice, lorsque la production moyenne par ouvrier employé était, je suppose, de 5 grammes et que son salaire journalier était équivalent à fr. 0,50, qui ne pourrait plus l'être aujourd'hui, quand même les perfectionnements techniques auraient doublé la production individuelle de l'ouvrier, si son salaire est égal ou supérieur à 2 francs.

(**62**) Enfin les inductions tirées de l'existence de gîtes exploités dans le voisinage, méritent d'être considérées, et ont souvent conduit à des résultats fort importants.

En premier lieu, on doit se rattacher au principe déjà cité *du parallélisme des gîtes*, principe aux termes duquel on peut dire, d'une manière générale, qu'un gîte exploité en un point donné fournit la *présomption* de l'existence d'un gîte ou de plusieurs gîtes qui lui sont coordonnés ; cette présomption est telle qu'elle justifie, en principe et à elle seule, les recherches qui pourront être faites au toit ou au mur de ce gîte. Elle s'explique, avons-nous dit, *pour une couche*, par cette considération que les circonstances auxquelles est due la production d'une certaine couche, spéciale par son caractère

Digitized by Google

ou par sa composition, ont pu être plus permanentes, moins éphémères que celles qui ont produit la sédimentation pure et simple ; *pour un filon*, par cette autre considération qu'une de ces grandes ruptures d'équilibre, comme celles qui ont eu lieu dans l'écorce du globe, doit produire, en général, non pas une cassure unique, mais un système de cassures parallèles, ou même plusieurs systèmes de cassures coordonnées chacune à des directions déterminées. (Voir n$^{os}$ 28 et 29.)

En second lieu, le rapprochement à faire peut se présenter sous une autre forme, en ce sens qu'au lieu de chercher des gîtes parallèles à un gîte exploité donné, on chercherait le prolongement de ce gîte lui-même en des points où il n'est pas apparent. C'est, par exemple, ce qui arrivera si, ayant dans une région donnée un bassin houiller en exploitation, on observe un côté où le terrain houiller est recouvert par des stratifications plus modernes, sous lesquelles on le voit s'enfoncer et disparaître.

Jusqu'à quelle distance se prolonge-t-il sous ces terrains? Ne peut-on espérer, en traversant ces terrains par des travaux d'art appropriés, aller retrouver, pour le mettre en valeur, le terrain houiller sur lequel ils reposent?

Ce ne sont pas là des spéculations purement théoriques, comme on pourrait le croire. Elles sont au contraire très-directement intéressantes pour la pratique, et l'on en a tiré souvent des conséquences très-importantes.

Ainsi, c'est à leur application pure et simple qu'est due l'existence des houillères du Nord et du Pas-de-Calais, qui constituent aujourd'hui le groupe le plus important qui existe en France.

Ce groupe était complétement inexploité, et même ignoré, il y a 150 ans, alors que déjà les houillères de la Belgique étaient connues sur la longue bande qui s'étend de Liége à Mons. En arrivant près de la frontière française, le terrain houiller, déjà partiellement recouvert à Mons, disparaissait entièrement sous un manteau continu de terrains stériles, ou morts terrains (voir n° 43). L'idée se présentait naturellement de chercher le prolongement de la zone houillère, dans la direction qu'elle affecte en Belgique, entre la frontière et Valenciennes, puis entre Valenciennes et Douai. C'est ce qui

Digitized by Google

a été fait, non sans de très-laborieux efforts, nécessités par la nature aquifère des morts-terrains qu'on avait à traverser. Le résultat de ces efforts a été d'abord la création des mines d'Anzin, qui sont dans les mains d'une puissante compagnie, sans rivale en France et sans supérieure dans le monde pour l'importance de sa production; et ultérieurement la création des mines d'Aniche, qui sont aussi aujourd'hui en grande voie de développement.

Les choses en restèrent là jusque vers 1835. Reprenant, pour répondre aux besoins croissants de la consommation, le point de vue qui, un siècle auparavant, avait conduit à la découverte du terrain houiller sur le sol français, on en chercha de nouveau un prolongement dans la même direction, c'est-à-dire aux environs d'Arras. Ces explorations n'eurent aucun succès, jusqu'à ce qu'il eût été reconnu que la direction générale de la zone houillère s'infléchissait vers le nord à partir de Douai, et allait passer, non par Arras, mais par Lens et Béthune. Une fois remis sur la voie, on se livra activement aux explorations, en s'avançant de plus en plus vers l'ouest, et c'est ainsi que furent créées, dans ces vingt dernières années, les belles exploitations qui jalonnent en quelque sorte à la surface du sol le terrain houiller sous-jacent, depuis Douai jusqu'à l'ouest de Béthune.

Une autre application des mêmes considérations a été faite, dans ces dernières années, pour retrouver dans le département de la Moselle le prolongement vers le S.-O. du grand bassin houiller de Sarrebruck, que l'on voyait disparaître au voisinage de la frontière française sous des terrains plus modernes.

Des résultats importants avaient été obtenus par diverses sociétés francaises, qui s'étaient formées pour faire des recherches, et avaient déjà reconnu le terrain houiller, à des profondeurs accessibles, sur plus de 120 kilomètres carrés. Mais ces territoires ont été enlevés à la France, à la suite de la malheureuse guerre de 1870. Le même soin jaloux, qui avait, en 1815, présidé à la délimitation de notre frontière, de manière à ne laisser en France aucune partie alors connue du bassin houiller, nous a dépouillés en 1871, non seulement de ce prolongement, dont la découverte était notre ouvrage, mais encore, autant qu'il a été possible, du grand gisement de mi-



Digitized by Google

nerai de fer dont il a été parlé plus haut (n° 41), et des principales usines qui avaient été créées pour le traitement métallurgique de ce minerai.

Nous pensons que ce qui a été fait dans le Nord et le Pas-de-Calais, ainsi que dans le département de la Moselle, on peut le faire encore sur plus d'un point en France, quoique peut-être sur une moindre échelle, et qu'il y a là un ordre de considérations qui ne doit pas être perdu de vue, et qui peut, dans plus d'une occasion, être d'une grande fécondité.

### § 2. — Des travaux de recherche.

**(63)** Nous supposons que les travaux dirigés dans l'esprit des observations ci-dessus (n°s 58 et suivants), ont amené l'explorateur à constater l'existence matérielle d'un gîte en un point donné. Si le gîte affleure, cette constatation a eu lieu par de simples travaux de fouille superficiels. Si le gîte n'affleure pas, parce qu'il est recouvert par des dépôts plus modernes, on l'a atteint *soit par des puits* (comme on a procédé dans le dernier siècle pour découvrir le terrain houiller du département du Nord), soit d'une manière plus rapide et moins dispendieuse, mais aussi moins précise, *par un ou plusieurs trous de sonde* exécutés par les procédés qui seront décrits plus loin, et qui ont servi, dans ces derniers temps, pour les recherches du Pas-de-Calais et de la Moselle. Il reste à examiner si le gîte dont il s'agit est industriellement utilisable, c'est-à-dire s'il comporte une exploitation permanente, ou au moins d'une certaine durée. La condition *nécessaire*, mais non suffisante, à laquelle il doit satisfaire, c'est qu'il soit convenablement étendu, qu'il ait une certaine suite, une certaine tenue, sans laquelle évidemment il ne payerait jamais les premières dépenses qu'on aurait faites pour établir cette exploitation.

**(64)** Dans le cas où le gîte affleure, après qu'on a obtenu tous les renseignements qu'on peut déduire de l'examen géologique du terrain, et des travaux sommaires faits pour étudier les affleurements

Digitized by Google

ou pour pénétrer dans les vieux travaux, on doit se résoudre à aller attaquer et reconnaître le gîte en profondeur.

L'attaque peut se faire soit par galeries soit par puits.

Si le relief du sol le permet, l'attaque par galerie a l'avantage de réduire la dépense de première installation et celle d'exécution de l'ouvrage, parce qu'on n'a ni frais d'établissement de machines au début, ni frais d'extraction et d'épuisement pendant le travail. Cette galerie pourra être commencée sur un point d'affleurement du gîte et être une galerie en direction, ce qu'on appelle *une galerie d'allongement*, ou bien en dehors du gîte perpendiculairement à sa direction, ce qu'on appelle *une galerie à travers bancs*.

La galerie d'allongement a l'avantage d'étudier le gîte, chemin faisant ; la galerie à travers bancs celui d'étudier le terrain encaissant, et par conséquent de faire reconnaître les gîtes parallèles, s'il en existe.

Le choix entre ces deux systèmes d'attaque dépend essentiellement des dispositions locales.

Sur le gîte même, la recherche doit consister en galeries d'allongement faites à plusieurs niveaux, reliées par des cheminées, et en quelques bouts de galeries poussés au toit et au mur, de manière à bien reconnaître la direction, l'inclinaison et la véritable puissance du gîte, ainsi que la manière dont la substance à exploiter s'y trouve répartie.

Une attaque par galerie peut ne pas donner de résultats bien décisifs, si le gîte renferme de vieux travaux ; car souvent ces vieux travaux descendent jusqu'au niveau des vallées les plus voisines, ou même au-dessous, et il faudrait aller chercher beaucoup trop loin le point d'attaque, et par suite faire une galerie beaucoup trop longue, si l'on voulait s'imposer la condition d'atteindre le gîte dans une partie intacte en contre-bas de ces vieux travaux.

Ce serait une dépense d'argent, et surtout de temps ,qu'il peut être convenable ou nécessaire d'éviter. Dans ce cas on fera une attaque par puits.

On peut établir soit un puits incliné (cheminée ou fendue), partant d'un point pris sur l'affleurement, soit un puits vertical, pris

Digitized by Google

au toit du gîte ; de manière à aller recouper le gîte à la profondeur à laquelle on veut l'étudier.

La fendue est l'équivalent d'une galerie d'allongement ; le puits vertical l'équivalent d'une galerie à travers bancs.

Il arrivera souvent qu'une attaque par puits sera préférée à une attaque par galerie, parce qu'on trouvera une compensation à la dépense de première installation et au coût plus élevé du mètre courant d'avancement de l'ouvrage, dans une moindre longueur de cet ouvrage et une moindre durée d'exécution, et dans l'avantage d'atteindre le gîte à un niveau plus bas, et d'obtenir par là des notions plus décisives sur son allure en profondeur. Enfin on pourra être conduit à combiner les deux modes d'attaques ; à faire, par exemple, une galerie à travers bancs et une fendue qui iront se rencontrer en profondeur en un point donné du gîte. Ce système mixte combinera les avantages de l'un et de l'autre mode, et donnera pour l'aérage des facilités particulières.

(**65**) Lorsque le gîte n'affleure pas, comme dans les cas cités plus haut pour les départements du Nord, du Pas-de-Calais et de la Moselle, la marche qui semble indiquée et qu'on a en effet suivie dans ces derniers temps, est de commencer par constater matériellement l'existence du gîte, par un ou plusieurs sondages qui donnent en même temps des notions sur la nature et sur l'épaisseur des morts-terrains qui le recouvrent ; ensuite d'attaquer le gîte par des puits verticaux, qu'on installera dès l'origine, de manière qu'ils puissent être ultérieurement transformés en ouvrages définitifs, une fois que le gîte aura été atteint et étudié, et qu'on sera fixé sur la possibilité de l'exploiter.

(**66**) Dans tous les cas, on doit convenir que les travaux de recherches demandent de *l'argent* et *du temps*. Le temps surtout est un élément *indispensable*, sans lequel on ne saurait *résoudre*, on ne doit pas même chercher à *poser* la question de savoir si un gîte donné sera susceptible d'une exploitation durable.

La question ne comporte en effet de réponse positive que lorsqu'on sait si le gîte présente une étendue suffisante, et, dans cette

Digitized by Google

étendue, une concentration convenable de la matière utile ; et ces résultats ne peuvent eux-mêmes être sûrement acquis sans un développement approprié donné aux travaux de recherche.

La question générale une fois posée, la réponse à y faire demande un examen attentif et sévère d'une foule de questions partielles, techniques, commerciales, économiques.

(**67**) On doit se demander d'abord quelle est l'importance des frais qui restent à faire, pour installer cette exploitation définitive.

Ces frais comprennent d'abord les travaux d'aménagement du gîte, et les travaux extérieurs concernant l'exploitation proprement dite ; puis les ateliers d'élaboration de la matière exploitée (ateliers de lavage, d'agglomération ou de carbonisation, fonderie, etc.) ; ensuite les dépenses accessoires pour les magasins et ateliers de réparation, pour le logement des employés et des ouvriers, et pour le recrutement de ces derniers ; les dépenses pour l'aménagement des eaux motrices et pour la création de voies de transport ; les frais du service financier pendant la période d'installation, etc.

(**68**) La seconde question est relative au prix de revient de l'exploitation future.

C'est une matière délicate, en ce sens que le prix de revient varie généralement en *sens inverse* (nous ne disons pas en *raison inverse*) du chiffre de la production annuelle, et que celle-ci ne peut être fixée à l'avance que d'une manière assez approximative.

On fera l'hypothèse qui semblera la plus raisonnable, et partant de cette hypothèse on établira le prix de revient en tenant compte des frais généraux probables, de la dépense directe d'exploitation estimée d'après les indications qu'auront fournies les travaux de recherche, des frais d'élaboration ultérieure du minerai évalués, soit par quelques essais, soit d'après la nature du minerai et par comparaison avec les résultats obtenus ailleurs.

On devra, dans ces calculs, prendre pour points de départ les prix de la main-d'œuvre et des matériaux dans le pays, mais en

Digitized by Google

prévoyant que l'exploitation à créer pourra bien changer ces éléments dans une large mesure.

Si, par exemple, la population clair-semée doit obliger à amener des ouvriers du dehors, il faut compter, non pas sur le prix actuel de la main-d'œuvre dans le pays, mais bien sur celui du pays où l'on recrutera son personnel, augmenté encore de la prime qu'il faudra donner aux ouvriers pour les décider à se déplacer.

Si le bois propre au soutènement de la mine n'a pas encore d'emploi déterminé dans le pays, il peut être à bas prix quoique peu abondant. Si la mine en consomme beaucoup, il faudra le faire venir de loin, et le prix sera, non pas le prix local actuel, mais bien celui du pays d'origine augmenté des frais de transport.

(**69**) Quels seront les débouchés? Cette question commerciale comporte des solutions très-différentes, selon la matière à exploiter. Certaines matières sont d'un usage à peu près général, mais d'une faible valeur intrinsèque; de telle sorte que le transport arrive facilement à doubler, tripler et au delà le prix auquel on pourrait les obtenir sur le carreau de la mine.

Tel est, par exemple, le cas de la houille. Le débouché propre d'un bassin houiller donné est la consommation qui se fait autour de lui, dans un rayon tel que ses produits y peuvent arriver à plus bas prix que ceux des bassins houillers avec lesquels il sera en concurrence.

En dehors de ce rayon, ses produits rencontreront une résistance d'autant plus vive qu'ils s'éloigneront davantage, et le placement qu'on pourra en faire dépendra des sacrifices que les exploitants de ces divers bassins pourront, ou voudront faire, en vue de soutenir la concurrence.

Si, en définitive, la consommation est faible ou insignifiante dans un rayon donné, les débouchés seront nuls et le bassin houiller restera forcément inexploité, à moins qu'on ne crée, en même temps qu'on le met en exploitation, quelque industrie annexe pour en consommer les produits, telle qu'une forge, une verrerie, etc., etc.

En fait, il existe encore aujourd'hui, même en France, des bassins houillers dont la richesse en houille est bien constatée, et qui

Digitized by Google

attendent des débouchés sans lesquels leur mise en valeur est, quant à présent, impossible, faute de débouchés sur place et faute de moyens de transport pour en aller chercher au loin. Ce que nous disons ici de la houille, on peut le dire de beaucoup d'autres substances, du minerai de fer par exemple. Le plus beau gisement de minerai de fer n'est exploitable que s'il est à portée de hauts fournaux qui puissent le consommer, soit qu'on en crée spécialement pour le traiter sur place, soit qu'on crée des voies économiques de transport pour l'amener aux hauts fournaux existants.

C'est ainsi qu'en Afrique, le beau gisement de Mokta-el-Hadid, connu de tout temps, n'a pu être exploité que du jour où il a été relié à un port d'embarquement, celui de Bone, par un petit chemin de fer de 34 kilomètres, qui n'a pas d'autre élément de trafic que le transport même de ce minerai.

Ce transport a été de 372,000 tonnes en 1872, ainsi que nous l'avons dit plus haut. On n'en aurait pas extrait une tonne, si le chemin de fer n'eût pas existé. D'un autre côté, sans le gîte de Mokta, ce chemin de fer n'avait pas de raison d'être; de sorte que sa construction doit être considérée comme faisant partie des dépenses de premier établissement de ce gîte.

(70) En opposition à ces matières encombrantes et de peu de valeur sur le lieu de production, qui ne peuvent se répandre partout, et dont le débouché a toujours un certain caractère local, on doit considérer les matières d'un prix élevé, telles que certains minerais de cuivre, les minerais de plomb argentifères, etc., et, plus encore, les métaux provenant de ces minerais, dans le cas où l'on suppose que la mine s'occupe du traitement métallurgique. Ces matières voyagent facilement, grâce à leur haute valeur sous un poids donné; elles n'ont de débouchés locaux que pour la vente au détail, et les ventes en gros vont se concentrer sur un petit nombre de marchés. C'est ainsi que Londres est le grand marché pour le cuivre métallique, et Swansea pour les minerais de cuivre; c'est ainsi que le plomb se place surtout à Londres, au Havre et à Marseille; le zinc à Paris et à Hambourg; l'étain à Londres et à Rotterdam, etc., etc.

Digitized by Google

Les prix varient sur ces divers marchés, et souvent sur une très-large échelle; mais c'est par le fait des circonstances générales qui affectent le commerce, et non ordinairement par le fait d'une mine nouvelle que l'on vient à créer, mine qui n'a pas *habituellement* assez d'importance propre pour influencer les prix dans le monde.

(**71**) On doit donc faire une différence essentielle entre les mines, selon la nature des produits qu'elles livreront à la consommation.

*Pour les unes*, l'importance de l'exploitation est réglée *par l'importance du débouché.*

*Pour les autres*, elle n'est en quelque sorte réglée que *par la puissance même de production de la mine.*

*Pour les premières*, la conséquence de la mise en exploitation peut être l'abaissement du prix de vente, même dans une très-large mesure, pour peu qu'on cherche à se faire une place un peu ample sur un marché déjà occupé par d'autres productions.

*Pour les secondes*, on n'a le plus souvent qu'à se rendre compte des prix courants habituels sur un marché donné et des frais qu'il faudra faire, y compris les transports, pour exploiter ses produits et les rendre sur ce marché; la différence donnera une idée du bénéfice moyen que pourra réaliser l'entreprise.

(**72**) Telles sont les considérations diverses qu'on doit avoir présentes à l'esprit, lorsqu'on se livre à des travaux d'exploration et de recherches. La matière comporte, on ne saurait trop le répéter, indépendamment des connaissances spéciales du mineur, nécessaires à l'exécution des travaux et à l'appréciation technique de leurs résultats, beaucoup de prudence et de réserve.

On ne devra pas craindre de consacrer à ces travaux préliminaires et l'argent et surtout le temps, indispensables pour arriver à l'appréciation rationnelle d'une affaire donnée.

On devra, en général, dans les estimations qu'on aura à faire, calculer largement, et considérer que la mise en exploitation définitive aura habituellement pour conséquences une augmentation dans les prix de la main-d'œuvre et des fournitures, et aussi, au moins dans certains cas, une réduction dans les prix de vente.

Digitized by Google

On devra enfin procéder à toutes ces opérations, avec la pensée que, sur un nombre donné d'explorations, la majeure partie n'aboutit pas à faire découvrir des gisements dignes de donner lieu à des recherches suivies ; que pour ces recherches, la majeure partie également n'aboutit pas à la création d'exploitations régulières, et qu'enfin, pour ces dernières, les bénéfices ne représentent en moyenne, et malgré de brillantes exceptions, qu'une fort modeste remunération de l'ensemble des capitaux qui se consacrent à l'industrie des mines.

Je pense cependant qu'une affaire de ce genre, bien étudiée et bien mûrie, peut être fort digne d'appeler l'attention des capitalistes qui recherchent des placements à long terme. Je pense que pour beaucoup de produits de cette industrie, pour la houille et pour le fer par exemple, les besoins de la consommation sont dans une telle voie d'accroissement qu'il n'est pas à présumer que les moyens de production puissent pendant longtemps se développer parallèlement. Sur plus d'un point déjà, on peut prévoir, à assez bref délai, le moment où seront épuisés des gîtes qui aujourd'hui fournissent un appoint important à la consommation. Quelques exploitations houillères ne verront pas la fin de ce siècle ; et dans une centaine d'années un grand nombre d'entre elles seront épuisées à leur tour. Cependant il faudra que les autres suppléent au vide qu'elles laisseront dans la production, et en outre puissent faire face aux nouveaux besoins de la consommation, et il peut sembler douteux qu'elles y parviennent au moins d'une manière bien complète. Je regarde donc comme évident que le capital qui s'engage aujourd'hui dans une affaire de ce genre est assuré d'obtenir avec le temps, sauf quelques récurrences possibles, une rémunération rapidement croissante, pourvu que la richesse du gîte assure l'exploitation pour plus d'une ou deux générations.

Les prix de la main-d'œuvre pourront s'élever, s'élèveront même assurément ; il pourra en être de même des prix de beaucoup d'objets de consommation ; mais, en même temps, le combustible minéral deviendra de plus en plus rare et recherché. Comme il constitue pour la plupart des industries *un objet de première nécessité*, aussi indispensable, pour ainsi dire, que l'est le pain pour la

Digitized by Google

nourriture de l'homme, avec cette différence essentielle qu'on n'est pas maître d'en développer indéfiniment la production, on peut en conclure avec certitude que son prix s'élèvera, avec le temps, dans une plus forte proportion que celui de la majeure partie des autres objets de trafic (qu'il s'agisse de main-d'œuvre, de produits agricoles ou de produits de l'industrie manufacturière).

(**73**) En résumant toutes les considérations diverses exposées dans ce chapitre, il me paraît que l'on peut formuler la conclusion suivante :

En fait, en prenant ses exemples dans le passé, on trouverait que l'industrie des mines est peut-être une de celles qui ont donné, en moyenne, la plus faible rémunération à l'ensemble des capitaux qui s'y sont engagés ; mais on peut croire que ceux de ces capitaux qui sont restés improductifs, ont été bien souvent engagés sans discernement et sans études préalables suffisamment prolongées ; de sorte qu'en *suivant d'autres errements*, c'est-à-dire en ne passant pas trop tôt de la période des *recherches* à la période de la *mise en exploitation*, on limite le capital exposé à l'*alea* que comportent naturellement ces recherches, et le capital qu'on peut se résoudre à dépenser ultérieurement, *après une étude bien faite*, *aux divers points de vue énumérés ci-dessus*, doit être considéré comme permettant une évaluation de son revenu probable, à peu près aussi exacte que celle de beaucoup d'entreprises dans lesquelles les capitalistes n'hésitent pas journellement à s'engager.

En un mot, l'industrie des mines a toujours un certain caractère aléatoire qui ne saurait être absolument contesté ; mais dans une affaire de ce genre, *bien étudiée* et *bien mûrie* aux points de vue de l'ingénieur, du négociant et du capitaliste, ce caractère se trouve atténué dans une nature très-considérable, et *une telle affaire*, si les résultats de l'étude sont satisfaisants, *mérite toute l'attention des capitalistes sérieux*.

Digitized by Google

# CHAPITRE IV

## EXPLORATION PAR SONDAGES

### § 1er. — Aperçus généraux sur les sondages.

(74) Nous avons vu, au chapitre précédent, comment on pouvait être conduit à aller rechercher en profondeur, sous des terrains plus modernes qui les recouvrent, le prolongement de gîtes plus ou moins importants, qui affleurent et sont exploités sur d'autres points.

Le moyen qui se présente naturellement à l'esprit et qu'on a dû employer d'abord, est d'établir, sur le terrain à explorer, des puits verticaux que l'on pousse jusqu'au gîte, et de tracer, à partir du point de rencontre, suivant la pente et suivant l'inclinaison, une série de galeries de recherche, auxquelles on donne le développement que l'on juge convenable pour s'éclairer suffisamment sur la continuité et sur les autres circonstances de l'allure du gîte. Mais ces puits peuvent être très-longs et très-dispendieux à foncer, si les morts-terrains sont épais et aquifères. On peut redouter de se jeter prématurément dans une telle entreprise, alors que le prolongement du gîte n'est encore qu'une hypothèse plus ou moins plausible, mais non un fait matériel acquis. Il se peut d'ailleurs, et il arrivera même souvent, que plusieurs sociétés distinctes soient en concurrence pour obtenir la concession des mêmes terrains, et qu'il y ait une grande utilité à acquérir, par des recherches vivement exécutées, la qualité d'*inventeur* du gîte cherché, qualité qui, sans créer

Digitized by Google

un droit positif à l'obtention de la concession, ne peut manquer d'être prise en considération, dans une certaine mesure, par l'autorité administrative, qui est, aux termes de la loi du 21 avril 1810, chargée de l'octroi des concessions.

(**75**) On emploie alors un procédé d'exploration, relativement économique et rapide, qui, sans donner les mêmes lumières qu'un puits, au moyen duquel on peut aller *voir et toucher* le gîte, fournit cependant l'assurance de son existence matérielle, et peut, dans des cas donnés, suffire à l'autorité administrative pour se prononcer affirmativement sur sa concessibilité.

C'est ainsi, par exemple, que récemment, dans la Moselle, diverses concessions ont pu être demandées et accordées, d'après les résultats obtenus par diverses applications de ce procédé, avant qu'un seul puits destiné à l'exploitation fût arrivé au charbon.

Ce moyen d'exploration sommaire se nomme un *sondage* ou un *forage*.

Il consiste à exécuter dans le terrain un trou d'un petit diamètre, au moyen d'outils appropriés, qui agissent sur le fond, par percussion ou par rodage, à l'extrémité d'une ligne de tiges qu'on manœuvre de la surface et qu'on allonge au fur et à mesure que le trou s'approfondit. Les débris provenant de l'action des outils s'accumulent au fond du trou, d'où ils sont extraits de temps en temps au moyen d'outils cureurs appropriés. En faisant usage alternativement des outils qui entaillent le terrain et des outils qui enlèvent les débris, on approfondit progressivement le trou, et l'on juge, à l'examen des débris qui en sortent, la nature des terrains que l'on traverse.

Ces sondages ont été très-employés dans ces derniers temps, dans le Pas-de-Calais et dans la Moselle, pour faire les explorations mentionnées au chapitre précédent (n° 62). On a très-facilement atteint des profondeurs de 100, 150, 200 mètres et plus. Sur d'autres points on est allé jusqu'à 900 mètres.

Ces grands sondages ne sont guère applicables qu'aux gisements en couches. On aurait trop de chances de manquer *un amas* limité dans le sens horizontal. Avec *un filon*, les variations d'épaisseur et

Digitized by Google

de richesse qui caractérisent un tel gîte rendraient trop souvent la recherche inutile, sans qu'on fût suffisamment autorisé à en tirer une conclusion négative.

(76) Ces sondages ne se font pas seulement pour la recherche des mines ; ils se sont faits aussi, et plus souvent peut-être, pour la recherche des eaux jaillissantes, ou pour créer ce qu'on appelle des *puits artésiens*, du nom de la province de l'Artois, où ils étaient connus depuis des siècles, sans qu'on eût songé pendant longtemps à employer à la recherche des mines les procédés à l'aide desquels on les exécutait.

Les eaux découvertes par la sonde paraissent provenir de nappes souterraines, qui existent dans certaines couches perméables, recouvertes par d'autres couches relativement imperméables. On aura, par exemple, une série de couches de sables plus ou moins désagrégés, ou de couches calcaires fissurées dans tous les sens (comme sont souvent certaines couches de la craie blanche), sur lesquelles reposeront des couches argileuses ou marneuses plus ou moins compactes. Si l'on suppose que l'ensemble de ces couches ait la disposition, très-fréquemment observée, d'une sorte de bassin ou de fond de bateau (*fig.* 47), les affleurements des diverses couches viendront se relever et dessiner à la surface du sol une série de courbes concentriques. Les couches perméables auront laissé s'infiltrer les eaux coulant à la surface du sol ; d'autant plus facilement qu'en raison même de leur perméabilité, elles auront été souvent les plus faciles à désagréger, et que, par suite, leurs affleurements seront accusés par des dépressions où les eaux du jour tendront à se rassembler. Ces couches seront donc entièrement saturées d'eau.

Si maintenant, ce qui est le cas général, les divers points d'affleurement ne sont pas au même niveau, on devra concevoir que l'eau s'infiltrera par les points les plus élevés tels que A, et qu'elle sortira par les points les plus bas tels que B, sous la forme de sources jaillissant au jour, ou bien sous le lit des fleuves ou sous celui de la mer. Les eaux dont est imprégnée la couche aquifère ne sont donc point stagnantes ; mais elles forment, au contraire, comme une sorte de grand courant souterrain, dont la direction et la vitesse en

Digitized by Google

chaque point dépendent de sa position en plan et en élévation par rapport aux affleurements, ainsi que de la perméabilité plus ou moins grande de la couche aux environs du point considéré.

Si l'on isolait par la pensée une petite masse d'eau depuis son entrée dans la nappe aquifère jusqu'à sa sortie, l'enveloppe de ses positions successives serait assimilable à un tuyau de conduite, dans lequel on devrait regarder la section comme irrégulière et brusquement variable d'un point à un autre, et le périmètre de la section comme très-grand relativement à cette section; à un tuyau de conduite, en un mot, dans lequel, pour une vitesse donnée de l'eau, il se ferait des pertes de charge par mètre courant beaucoup plus grandes que dans un tuyau ordinaire. Mais cela n'empêcherait pas l'écoulement de s'y faire suivant des lois semblables qui ne différeraient que par la valeur des coefficients numériques (Cours de machines, n° 136).

Supposant donc qu'en un point donné de ce courant souterrain on eût percé un trou et qu'on y implantât un tuyau suffisamment prolongé vers le haut, on aurait une sorte de piézomètre, dans lequel l'eau se tiendrait en dessous du point d'infiltration, à une distance verticale qui servirait de mesure à la hauteur totale employée pour donner à l'eau sa vitesse au point considéré, et en outre pour surmonter toutes les résistances et compenser toutes les pertes de force vive éprouvées depuis le point d'infiltration.

En d'autres termes, le niveau de l'eau dans le tube serait *un point de la ligne de charge*, et le lieu géométrique de ces niveaux, considérés pour l'ensemble de la nappe souterraine, serait une surface plus ou moins sinueuse qu'on pourrait désigner sous le nom de *surface piézométrique* ou *surface de charge*. Ceci posé, un puits artésien aboutissant à un point de la nappe aquifère donnerait, ou non, des eaux jaillissantes, selon que la *surface piézométrique* en ce point serait *au-dessus*, comme en M, ou *au-dessous*, comme en N, du point correspondant de la surface du sol (*fig.* 47). Cet énoncé constitue comme une sorte de théorème, définissant la condition géométrique à laquelle serait subordonné le succès d'un sondage qu'on entreprendrait en un point donné, pour créer un puits artésien don-

Digitized by Google

nant de l'eau jaillissante. On peut donner à cet énoncé une forme un peu différente, de la manière suivante :

Si l'on supposait que l'eau fût stagnante dans la nappe aquifère, ce qui aurait lieu, si l'on obstruait tous les orifices par lesquels l'eau peut s'en écouler, la masse liquide serait en repos et la surface piézométrique se confondrait avec ce qu'on peut appeler la surface hydrostatique, c'est-à-dire avec un plan horizontal mené par les points d'infiltration.

Désignant par H l'ordonnée, comptée de haut en bas, de la surface piézométrique par rapport à ce plan horizontal, et par H' l'ordonnée de la surface du terrain par rapport au même plan, la condition d'avoir des eaux jaillissantes est donnée par la relation $H' > H$ ; si l'on suppose $H' = H$, l'eau viendra affleurer à la surface du sol ; si enfin on pose $H' < H$, l'eau se tiendra au-dessous du sol à la profondeur $H - H'$ dans le tube piézométrique. On pourra de là l'élever au jour avec des pompes, s'il s'agit d'obtenir de l'eau ; on pourra, au contraire, employer le trou à se débarrasser d'eaux que l'on aurait à la surface ; car dès qu'en versant de l'eau dans le tube piézométrique le niveau tend à s'y élever, il en résulte un excès de charge, qui détermine un courant descendant en vertu duquel l'eau se rend dans la nappe aquifère souterraine. Un forage fonctionnant dans ces conditions est ce qu'on appelle un puits absorbant, ou un *boit-tout*.

(77) La théorie ci-dessus doit être regardée comme parfaitement établie, et d'accord avec *tous les faits observés*, faits qu'elle explique et peut même faire prévoir. On en citera ici quelques-uns :

1° Le niveau piézométrique en un point donné, c'est-à-dire le niveau auquel l'eau *s'arrête au-dessous du sol*, dans le cas d'un boit-tout, ou *s'élève au-dessus*, dans un puits artésien prolongé par un tuyau d'une longueur suffisante pour que l'écoulement n'ait pas lieu ; ce niveau, dis-je, est indépendant du diamètre, et il est généralement plus élevé lorsque le trou est tubé que lorsqu'il ne l'est pas.

Le premier point résulte de ce que ce niveau ne dépend que de la charge qui a lieu dans la nappe d'eau souterraine au point où le

Digitized by Google

trou la rencontre ; charge qui a une valeur parfaitement déterminée et indépendante du trou, tant que celui-ci ne donne lieu à aucun écoulement.

Le second point s'explique par cette circonstance qu'avant d'arriver à la nappe souterraine à laquelle on s'arrête, on en a souvent traversé d'autres ayant un niveau piézométrique moins élevé ; qu'en tout cas, les terrains traversés ne sont pas absolument imperméables, et que, mis en communication avec la nappe inférieure, ils peuvent jouer par rapport à elles le rôle d'un boit-tout. Les parois du trou sont assimilables à un tuyau qui ne serait pas étanche, qui donnerait lieu à des fuites, à un certain écoulement de l'eau, et, comme conséquence, à un abaissement du niveau de l'eau dans le tuyau. Cela est tellement vrai que dans un forage tubé, si l'on observe avec le temps une diminution dans l'affluence de l'eau, on n'a, pour en connaître la cause, qu'à voir si le niveau piézométrique est resté le même. Dans le cas de l'affirmative, on en conclut que la diminution est due à quelque obstruction, dans le tuyau ou à sa base, et *il faut le curer ;* dans le cas de la négative, on en conclut que le tube lui-même est en mauvais état, et *il faut le remplacer*.

2° Le volume d'eau que fournit un puits artésien augmente *avec la section du trou ;* mais il augmente dans un rapport impossible à calculer à l'avance, en tous cas, moindre que le rapport des sections, et d'autant moindre que, pour un rapport donné, ces sections sont plus grandes en valeur absolue.

Le premier point est évident ; le second ne le sera pas moins, si l'on remarque que le bas du trou n'est pas en relation avec un réservoir indéfini, conservant la même charge quelle que soit la quantité qu'il débite (ce qui est nécessaire et ce que l'on suppose implicitement, lorsqu'on dit que le débit d'un orifice est proportionnel à sa section). Au contraire, dans l'espèce, à mesure que le débit s'accroît, la vitesse de l'eau doit augmenter dans les petits canaux de la nappe aquifère qui convergent vers l'orifice inférieur du forage, et par suite la charge sur cet orifice doit diminuer. Mais cette diminution même ne peut être chiffrée ; car elle dépend essentiellement de la section que présentent les petits canaux qui sont actuellement intéressés à l'écoulement du puits artésien considéré.

Digitized by Google

En un mot, on ne peut pas plus calculer le débit du trou de sonde qu'on ne pourrait calculer celui d'une conduite, dans laquelle on saurait qu'il *existe des étranglements* dont on ne connaîtrait pas l'*importance*.

3° Ce même volume augmente, à mesure que l'on prend l'eau plus près de la surface du sol, ou à une plus grande distance en dessous du niveau piézométrique; mais sans qu'on puisse calculer à priori cette augmentation. L'augmentation résulte de ce que prendre l'eau plus bas revient à faire une réduction de pression sur la section inférieure du trou, considérée comme un orifice d'écoulement, ce qui tend à augmenter la charge motrice; d'un autre côté, comme cette charge motrice est diminuée, par l'augmentation de vitesse dans les petits canaux souterrains, d'une quantité inconnue, on ne peut, comme on vient de le dire, savoir quelle est la charge effective qui subsiste, ni par conséquent calculer la dépense.

4° Ce même volume augmente encore, lorsqu'après avoir foré un puits, on vient à le tuber. Cela résulte de ce qui a été dit plus haut, sur les variations du niveau piézométrique. L'écoulement par un puits non tubé équivaut à l'écoulement par un tuyau qui présenterait des fuites sur divers points de sa longueur.

5° Deux puits suffisamment voisins s'influencent, de telle sorte que chacun d'eux réduit le produit que donnerait l'autre, s'il était seul; la somme de leurs débits tend, à mesure qu'ils sont plus rapprochés, à se réduire à ce que donnerait un puits unique ayant une section égale à la somme de leurs sections.

Ce dernier résultat s'obtiendrait évidemment, à la limite, si l'on supposait que les axes des puits coïncidassent. A mesure que ces axes s'éloignent, le débit total augmente, parce que l'ensemble des petits canaux qui concourent au débit augmente lui-même. Enfin, si la distance devient suffisamment grande, ces petits canaux forment deux systèmes indépendants, les deux puits cessent alors de s'influencer, et chacun d'eux a le même débit que s'il était seul.

Ces deux débits seront d'ailleurs égaux, si les deux puits ont même diamètre et s'ils sont dans les mêmes conditions de charge, sauf cependant les écarts qui pourraient résulter d'une certaine différence de perméabilité ou de puissance de la nappe aquifère, aux



Digitized by Google

environs des points où ils la rencontrent. A la rigueur, ces écarts pourraient s'accentuer jusqu'à rendre nul le débit d'un des puits, s'il tombait sur un point où la puissance de la couche perméable serait réduite à zéro, ou bien où la couche, conservant sa puissance, aurait perdu entièrement sa perméabilité.

6° Enfin, nous indiquerons encore, comme un fait curieux, signalé dans quelques puits de l'Artois assez voisins de la mer, qu'ils peuvent être jaillissants à *marée haute*, et cesser de l'être à *marée basse*.

Ce fait s'explique facilement, en supposant que la couche aquifère qui affleure d'un côté dans les parties hautes du pays, vienne d'un autre côté affleurer sous la mer.

La marée haute augmente la charge sur les orifices de sortie, ralentit l'écoulement, relève la surface piézométrique de toute la nappe souterraine, et pour certains points peu éloignés de la mer et placés à un niveau assez bas, peut la faire passer *du dessous au dessus* de la surface du sol.

(**78**) L'ensemble de tous ces faits ne peut laisser aucun doute sur la théorie des puits artésiens. C'est à cette théorie qu'il faudra se rattacher, soit pour chercher les localités où des puits artésiens peuvent être établis, soit pour apprécier les chances de succès que présente une localité donnée.

L'étude à faire, pour résoudre l'une ou l'autre de ces deux questions, est essentiellement géologique et topographique. On exclut naturellement de cette étude les terrains d'origine ignée (quoiqu'il ne fût pas absolument impossible, au point de vue théorique, de tomber sur quelque faille aquifère pouvant jouer le même rôle qu'une couche perméable). Il faut que le terrain sédimentaire soumis à l'étude ait la disposition en forme de bassin, présentant au jour, en une série de courbes concentriques, la tranche des différentes couches dont il est formé.

Il faut que parmi ces couches il y en ait de nettement perméables aux eaux, comprises entre d'autres qui soient relativement imperméables.

Il faut encore que le terrain n'ait pas été trop bouleversé par des

Digitized by Google

failles, qui rompraient la continuité des nappes aquifères, et fourniraient des points par lesquels ces nappes pourraient décharger directement leurs eaux au jour.

Ces conditions géologiques satisfaites, la condition topographique à remplir, pour obtenir un puits jaillissant en un point donné, *condition nécessaire et suffisante*, est qu'en ce point, ainsi qu'on l'a déjà dit, *la surface piézométrique de la nappe souterraine soit au-dessus de la surface du sol.*

De cette condition on déduit :

*Qu'on sera certain d'échouer*, si le point donné est au-dessus des points d'infiltration;

*Qu'on sera certain de réussir*, s'il est en dessous des points de sortie de l'eau;

*Qu'on pourra obtenir un résultat variable*, quand ce même point se trouvera à un niveau intermédiaire, ce niveau *pouvant être* d'ailleurs d'autant plus haut qu'on se place plus près des points d'infiltration, et *devant être* d'autant plus bas qu'on est plus près des points de sortie.

(79) *Le bassin de Paris*, considéré dans son ensemble géologique, est éminemment propre à la création des puits artésiens. L'examen de la carte géologique montre en effet qu'il est formé d'une série de terrains sédimentaires disposés en forme de bassin, comme autant de cuvettes de grandeur décroissante, placées les unes dans les autres, et dont les environs de Paris forment à peu près la partie centrale. Ces terrains, qui ont échappé aux influences métamorphiques subies le plus souvent par des terrains plus anciens ou plus rapprochés des centres éruptifs, présentent des alternances de couches perméables et imperméables ; enfin ces couches ne sont que très-faiblement accidentées.

On compte, en allant de haut en bas, plusieurs niveaux propres à fournir et qui fournissent en effet des puits artésiens.

A Londres, ville qui se trouve dans le bassin en question, il existe des puits de ce genre, alimentés par des nappes qui se présentent dans des sables subordonnés à l'argile plastique.

Certains puits des environs de Paris sont dans les sables chlo-

Digitized by Google

rités inférieurs à l'argile plastique et supérieurs au calcaire grossier.

Les puits de l'Artois sont dans la craie blanche recouverte par l'argile plastique. (Ce sont ces mêmes bancs perméables de la craie blanche qui offrent tant de difficultés au fonçage des puits de mines, dans le Nord et le Pas-de-Calais.)

Les grands puits de Grenelle et de Passy s'alimentent dans les sables verts inférieurs à la craie blanche.

Enfin ceux que l'on exécute en ce moment à la butte aux Cailles et à La Chapelle, au sud et au nord de Paris, iront s'alimenter encore plus bas, jusque dans le terrain jurassique. On s'est décidé à aller jusque-là, dans la pensée que si l'on s'arrêtait aux sables verts, le débit de ces nouveaux puits se ferait, en partie, aux dépens de celui des puits de Grenelle et de Passy.

Pour ces derniers, le régime de la nappe aquifère est facile à définir en examinant la carte géologique. Les sables verts affleurent, d'un côté dans les environs de Troyes, soit à une altitude d'environ 125 mètres au-dessus de la mer, d'un autre côté à Tours et au nord de cette ville, à une altitude d'environ 60 mètres. Ils passent sous Paris à environ 550 à 600 mètres de profondeur. Pour tout point situé sur une zone passant par ces trois villes, le niveau piézométrique serait compris entre 125 et 60 mètres, et irait en s'abaissant de l'est à l'ouest. (On a reconnu qu'il était à Paris supérieur à 80 mètres.)

On peut donc affirmer, d'après ce qui vient d'être dit au numéro précédent, qu'en tout point de cette zone, réserve faite du cas accidentel et peu probable où les sables seraient agglutinés et imperméables, ou bien n'existeraient pas au point de rencontre, un puits poussé jusqu'aux sables verts, *donnera certainement des eaux jaillissantes*, si sa cote de surface est inférieure à 60 mètres ; *n'en donnera assurément pas*, si sa cote est supérieure à 125 mètres, la limite entre ces deux cas étant d'environ 80 mètres aux environs de Paris, et se rapprochant du premier ou du second de ces chiffres, selon qu'on s'éloigne de Paris en marchant vers l'ouest ou vers l'est.

(**80**) On voit, en résumant ce qui précède (nos 75 à 78), qu'on peut avoir *un grand sondage* à exécuter, soit pour retrouver un gîte

Digitized by Google

unique, ou un système de gîtes, et plus spécialement un système de couches connu dans une région, et dont on soupçonne la présence dans une autre région, au-dessous de terrains plus récents, soit pour rechercher des eaux montant du fond pour s'élever au-dessus de la surface, ou près de la surface d'où on peut les reprendre avec des pompes, soit enfin, plus rarement, pour établir des puits absorbants.

Ce ne sont pas là les seules applications possibles. On a fait encore des sondages à grand diamètre, pour l'exploitation du sel gemme ou d'argiles salifères. Le trou de sonde exécuté jusqu'au gîte, et y pénétrant même jusqu'au mur, on descend à l'intérieur une pompe aspirante élévatoire, qui laisse autour d'elle un certain jeu dans lequel on fait arriver de l'eau pure. En faisant marcher la pompe, on extrait de l'eau saturée, à un certain degré que l'on peut faire varier en sens inverse de la vitesse imprimée à la pompe.

Cette méthode supprime les frais d'une exploitation souterraine, et elle peut être à recommander dans le cas où le gîte n'aurait donné à l'abattage qu'une matière impure devant nécessairement être dissoute et raffinée avant d'être livrée au commerce.

Le sondage sur un grand diamètre est encore employé pour établir quelque communication nécessaire à l'aérage, et même, comme on le dira plus loin en détail, pour établir des puits de mines à grande section, dans des cas où le fonçage par les procédés ordinaires entraînerait de trop grandes dépenses d'épuisement, ou pourrait même devenir impossible à cause d'une abondance excessive des eaux.

(**81**) Enfin, *sur une petite échelle*, les sondages pourront être employés par le mineur dans diverses circonstances de l'exploitation.

C'est ainsi qu'on pourra percer aux eaux, quand des chantiers seront poussés vers de vieux travaux inondés dont la position ne sera qu'imparfaitement connue; qu'on se donnera le prolongement de l'axe d'un puits à creuser sous stoss ; qu'on recherchera des gîtes superficiels, tels que la tourbe ou le minerai de fer dit d'alluvion ; qu'on étudiera un terrain dans lequel on a à ouvrir quelque grande tranchée, ou sur lequel on veut élever quelque construction importante, etc.

Digitized by Google

On voit, en résumé, que l'ingénieur en général, et spécialement l'ingénieur des mines, doit être familiarisé avec le détail de ces procédés du sondage, et savoir, dans chaque cas qui peut se présenter, choisir son outillage et proportionner ses moyens d'action au résultat à obtenir. On trouvera d'ailleurs généralement convenance, lorsqu'il s'agira d'un grand travail qui nécessiterait un matériel important et un personnel expérimenté, à s'adresser aux entrepreneurs qui se livrent spécialement à ce genre de travaux.

Nous considérerons, dans ce qui suit, l'outillage proprement dit, puis les engins de manœuvre; nous décrirons ensuite les diverses opérations que comporte l'exécution du travail dans ses différentes phases, et nous terminerons enfin par quelques données pratiques relatives à ces opérations.

### § 2. — De l'outillage employé dans l'exécution des trous de sonde.

(**82**) La sonde qui fonctionne pour le forage d'un trou, comprend une partie commune, *la tige*, munie de sa tête, et une partie variable selon la nature de l'opération en cours, *l'outil*, que la tige sert à porter au fond du trou et à manœuvrer.

La tige ordinaire se compose de simples barres de fer carrées, d'un à deux pouces de côté (27 à 54 millimètres).

Ces barres ont environ 5 à 6 mètres, quelquefois jusqu'à 10 mètres, et en général une longueur qui est un sous-multiple exact de la quantité dont l'engin établi sur le trou permet d'allonger ou de raccourcir les tiges à chaque manœuvre.

On a, en outre, une série de rallonges, qui permettent, pendant que le trou s'approfondit par le battage, de tenir la tête à une hauteur constante au-dessus du sol.

Les barres doivent être exemptes de défaut et parfaitement droites.

L'assemblage peut se faire à enfourchement (*fig.* 48), ou à vis (*fig.* 49).

Le premier système a l'avantage de permettre la rotation de la tige dans les deux sens, ce qui peut être désirable dans quelques cas; mais l'assemblage demande une série de petites pièces mobi-

Digitized by Google

les (écrous et boulons), dont la pose et la dépose sont minutieuses, et ne sont pas toujours commodes après un long battage qui a fatigué les assemblages.

On préfère généralement l'assemblage à vis et à simple filet triangulaire. Chaque tige se termine, d'un côté, par un pas de vis tracé sur un cylindre, ayant au moins la section de la tige et à la naissance duquel est une embase d'une section un peu plus grande, et de l'autre côté, par une douille ayant la même section que l'embase et filetée intérieurement. La profondeur de la douille est un peu plus grande que la longueur de la vis, afin qu'en serrant à fond, l'embase et le rebord de la douille s'appliquent exactement. Le renflement, ou nœud, formé par cet assemblage a, comme on voit, une section un peu plus que double de la section de la tige.

Tous ces assemblages sont identiques, de manière que deux tiges quelconques puissent s'adapter l'une à l'autre; la douille est toujours à la partie inférieure d'une tige. On remarquera en dessous de l'assemblage, quel qu'il soit, un petit épaulement *a*, qui sert à tenir les tiges suspendues au moyen d'une clef. Cette disposition est nécessaire, pour les manœuvres de descente et de relevage des tiges dans le trou.

Les tiges en fer ont, pour les sondages à de grandes profondeurs, un grand inconvénient : celui du poids.

En effet, la tige pèse $0^k,78$ par centimètre carré et par mètre courant, soit $0^k,68$ dans l'eau qui remplit habituellement le trou de sonde, ou, en nombre rond, $0^k,7$, en tenant compte du poids supplémentaire dû aux renflements des assemblages.

Soit, avec une profondeur supposée de 500 mètres, un poids de 2,550 kilogrammes pour une tige de 27 millimètres, et un poids de 10,200 kilogrammes, ou quatre fois plus grand, pour une tige de 54 millimètres. Il en résulte, dans la pratique, de très-sérieuses difficultés, qui augmentent rapidement avec la profondeur, lorsqu'on veut faire agir un outil par percussion. Un poids aussi considérable distribué sur une grande longueur de tige, ne peut être arrêté brusquement par un choc appliqué à son extrémité inférieure, sans fatiguer beaucoup la tige, surtout vers sa base, et sans la faire fouetter contre les parois du trou; de là des ruptures



Digitized by Google

fréquentes des tiges, des dégradations de la paroi du trou et des éboulements pouvant avoir les suites les plus graves.

Ces inconvénients sont tels que le battage devient pratiquement impossible à de grandes profondeurs, et que, par exemple, dans le sondage de Grenelle, un des premiers sondages à grande profondeur qu'on ait entrepris, on a dû travailler exclusivement par rodage.

On a pu le faire, eu égard à la nature marneuse des terrains traversés; mais on ne l'eût pas pu avec des terrains durs et siliceux.

On est donc, à ce qu'il semble au premier abord, en face d'une *véritable impossibilité*, s'il s'agit à la fois de *grandes profondeurs* et de *terrains très-durs* à traverser.

La question a été cependant résolue de deux manières :

1° En substituant aux tiges en fer des tiges en bois, qui, même avec leurs assemblages en fer, perdent dans l'eau qui, comme nous venons de le dire, remplit habituellement le trou pendant le travail, la majeure partie de leur poids.

2° En composant la tige de deux parties distinctes, une partie inférieure, courte et massive, faisant corps avec l'outil, et qui concourt seule à la percussion, l'autre qui ne sert qu'à soulever la première pour produire le battage, mais qui n'est pas liée invariablement avec celle-ci, et échappe ainsi à la réaction résultant de son choc sur le fond du trou.

Les tiges en bois sont ordinairement en sapin, bien droites de fil, de 6 à 8 ou 10 centimètres et plus d'équarrissage, avec les angles légèrement abattus, et de 10 à 12 mètres de longueur. Leur assemblage se fait exactement comme celui des tiges de fer, parce qu'elles sont munies en bas d'une douille, et en haut d'un cylindre fileté, comme ces dernières tiges. Ces pièces sont fixées à la tige en bois par des fourchettes qui embrassent exactement les extrémités de ces tiges et sont arrêtées par quelques boulons (*fig.* 50).

La tendance actuelle paraît être, pour les grands sondages, de donner la préférence aux tiges en bois sur les tiges en fer.

Mais la substitution du bois au fer n'a qu'une importance tout à fait secondaire, à côté du second artifice dont nous venons de parler.

Ce dernier doit être regardé comme tout à fait capital, et l'on peut dire *qu'il n'est pas permis aujourd'hui* d'entreprendre un grand

Digitized by Google

sondage, sans se réserver de l'employer sous une forme ou sous une autre.

(**83**) La première forme qui ait été pratiquée est celle du joint à coulisse d'Œynhausen, représenté figure 51. On voit comment la tête *n* qui termine par le haut la partie inférieure portant l'outil, se trouve soulevée avec cet outil par l'embase AB de la coulisse, et comment elle s'en détache brusquement lorsque l'outil, en redescendant, vient à frapper le fond du trou. Il faut supposer qu'en même temps la partie supérieure de la tige rencontre un arrêt élastique placé au jour, et convenablement disposé pour amortir toute sa vitesse, sur un parcours moindre que la longueur libre de la coulisse au-dessus de la tête. On évite ainsi les déformations et les fouettements qui auraient lieu, ainsi qu'on l'a dit plus haut, si cette partie de la tige était arrêtée en même temps que l'outil, *par un choc brusque* et *par le bas*. Ce joint à coulisse peut être considéré comme ayant été, en son temps, un perfectionnement capital. Il a permis de réduire beaucoup les dimensions de la partie supérieure des tiges, qui ne sert plus qu'à transmettre le mouvement à la partie inférieure portant l'outil.

L'arrêt élastique peut être un contre-poids, ou bien un ressort convenablement tendu. Dans le cas d'un contre-poids, on peut supposer qu'on l'ait placé sur le levier à secteur au moyen duquel on fait la manœuvre du battage. Si nous désignons par P le poids de la partie inférieure au-dessous de la coulisse, par P′ le poids de la partie supérieure, par P″ le contre-poids, par R et *r* les bras de levier respectifs de ce contre-poids et de la tige, le soulèvement de la tige d'une hauteur H fait descendre le contre-poids de la hauteur correspondante $H\frac{R}{r}$, et le travail à développer par le moteur placé au jour est facile à calculer.

Lorsque tout le système de la tige redescend sous l'action de la pesanteur, le contre-poids remonte en participant à ce mouvement. Si l'on désigne par V la vitesse de l'outil, au moment où il frappe sur le fond du trou, la demi-force vive du système, numériquement égale au travail moteur développé pendant le soulèvement, a

Digitized by Google

pour expression :

$$\left(P + P' + P''\frac{R^2}{r^2}\right)\frac{V^2}{2g}.$$

D'un autre côté, l'effet produit par la percussion sur le fond du trou peut être considéré comme proportionnel à la demi-force vive de la masse percutante, laquelle est

$$P\frac{V^2}{2g}.$$

Son rapport au travail dépensé est égal à

$$\frac{P\frac{V^2}{2g}}{\left(P + P' + P''\frac{R^2}{r^2}\right)\frac{V^2}{2g}} = \frac{P}{P + P' + P''\frac{R^2}{r^2}}.$$

On voit qu'il y a avantage, au point de vue de la dépense de travail, à diminuer le contre-poids ainsi que son bras de levier. Mais on n'est pas maître de diminuer indéfiniment ces quantités; car elles ont une condition à remplir, celle d'amortir complétement la vitesse de la partie supérieure de la tige, sur un parcours inférieur, comme on vient de le dire, à la longueur libre de la coulisse.

Soit H' cette longueur, on aura à poser l'équation de condition :

$$\left(P' + P''\frac{R^2}{r^2}\right)\frac{V^2}{2g} \leqq \left(P''\frac{R}{r} - P'\right)H'$$

équation qui suppose d'abord $P''\frac{R}{r} - P' > 0$, ou $P''R > P'r$; c'est-à-dire, comme on le comprend *a priori*, que le moment du contre-poids P'' doit être plus grand que celui du poids P', la différence devant d'ailleurs être d'autant plus grande, que la hauteur H' est moindre et la vitesse V plus considérable.

Si l'on pose $P''R = \mu P'r$ ($\mu$ étant une quantité supérieure à l'unité), l'effet utile devient :

$$\frac{P}{P + P' + P''\frac{R^2}{r^2}} = \frac{P}{P + P'\left(1 + \mu\frac{R}{r}\right)},$$

Digitized by Google

et l'on voit que si P′ et $\mu$ sont donnés, il faut diminuer R, c'est-à-dire préférer un contre-poids *lourd, placé près de l'axe du levier à secteur*, à un contre-poids *léger agissant sur un grand bras de levier*.

Une autre disposition qu'on peut donner au contre-poids consiste à le placer sur un levier spécial, qui ne commence à entrer en jeu, lors de sa descente, qu'au moment où l'outil frappe au fond du trou. A ce moment, une embase, dont la tige est munie à un niveau convenable, entre en contact avec le levier et soulève pour un instant le contre-poids, qui, dès que la vitesse est amortie, revient à son point de départ. Avec ce système, la force vive, au moment de la percussion, est seulement égale à $\left(P+P'\right)\frac{V^2}{2g}$; la force vive utilisée dans le choc est toujours égale à $\frac{PV^2}{2g}$, et l'effet utile à $\frac{P}{P+P'}$, quantité plus grande que la précédente ; ainsi le second système est, mécaniquement parlant, préférable au premier.

Enfin, on aurait le même résultat, en remplaçant ce contre-poids avec levier spécial par un ressort dont la tension initiale serait égale à P′, qui entrerait en action, comme on vient de le dire pour ce levier, et qui aurait un jeu d'une amplitude totale égale ou un peu inférieure à la longueur libre de la coulisse.

(**84**) A la coulisse simple d'Œynhausen, les principaux sondeurs se sont appliqués à substituer diverses dispositions qui ont chacune leurs qualités propres.

La coulisse de M. Kind est représentée (*fig.* 52). La partie inférieure portant l'outil se termine par une tête, qui est saisie et soulevée par un système de deux branches mobiles B B′, formant une sorte de grapin, analogue à celui au moyen duquel on manœuvre le mouton d'une sonnette à déclic. On voit comment ces deux branches s'écartent ou se rapprochent, selon que la disque D prend un mouvement relatif de haut en bas.

Ce disque, formé de trois rondelles de cuir serrées entre deux platines de tôle, et ayant sensiblement le diamètre du trou, fonctionne dans ce trou comme une sorte de piston, subissant de la part de l'eau un effort de bas en haut quand il descend, et de haut

Digitized by Google

en bas quand il monte. Les deux mâchoires du grapin sont donc maintenues serrées pendant qu'on soulève la tige, et s'ouvrent dès que la tige commence à redescendre sous l'action accélératrice de la pesanteur.

La partie supérieure de la tige reste en arrière, retenue soit par la résistance de l'eau sous le disque, soit principalement par le ressort ou le contre-poids dont il a été parlé ci-dessus, tandis que la partie solidaire de l'outil tombe librement sur le fond du trou. La manœuvre du battage se fait donc en laissant descendre la partie supérieure des tiges pour faire mordre le grapin, soulevant alors tout le système d'une certaine quantité et l'abandonnant brusquement. Il commence à tomber tout d'une pièce, le grapin s'ouvre, l'outil continue son mouvement accéléré et va frapper au fond du trou, tandis que le haut de la tige reste en arrière, et se ralentit graduellement sans chocs et sans fouettements.

Cette disposition fonctionne parfaitement, sous la condition d'avoir un trou d'un diamètre suffisant pour y loger le petit mécanisme ci-dessus décrit, sans trop réduire les dimensions des pièces et des articulations qui le composent.

La figure 52 *bis*, doit être considérée comme une variante de la coulisse de Kind, en ce qu'elle fonctionne également par le jeu du parachute. Elle en diffère en ce que c'est le poids même de l'outil qui écarte les deux branches du grapin, lorsqu'elles cessent d'être maintenues par des crans que le retard du parachute oblige de se soulever.

Cette disposition est due à M. Esche.

Le système employé par MM. Degousée et Laurent, qui serait également inapplicable à un trop petit diamètre, consiste à ajouter à l'outil une pièce qui descend avec la tige et reste posée sur le fond du trou, pendant toute la durée du battage. Cette pièce, qu'on nomme le poids mort, est, en principe, disposée de manière que les deux branches du grapin qui soulève l'outil soient forcées de s'ouvrir lorsque l'outil atteint une hauteur déterminée. Ce résultat peut être obtenu de diverses manières. On peut, par exemple, munir le poids mort d'une sorte de chapeau en tôle dont on règle la position à volonté, qui est convenablement évasé par le bas, et dans lequel s'engagent les queues du grapin lorsqu'il arrive vers l'extrémité supérieure

Digitized by Google

de sa course. Ces queues sont ainsi forcées de se rapprocher; le grapin s'ouvre, et l'outil décroché redescend librement, sans que la partie supérieure des tiges participe aucunement à ce mouvement. C'est un artifice analogue à celui qu'on emploie quelquefois pour produire le décrochage spontané du mouton, dans le battage des pieux au moyen de sonnettes.

La figure 53 représente une disposition un peu plus complexe que celle indiquée ci-dessus, qui a été employée par MM. Degousée et Laurent, au grand sondage de La Chapelle.

L'effet du chapeau est remplacé par celui de deux heurtoirs contre lesquels viennent buter les extrémités de deux crochets munis de talons qui forcent encore les queues du grapin de se rapprocher.

Une disposition spéciale est prise pour tenir accroché le trépan pendant toute la descente de l'outil, afin de prévenir tout mouvement prématuré de l'outil dans sa coulisse.

Enfin, M. Dru, successeur de M. Mulot, entrepreneur du puits de Grenelle, emploie une disposition (*fig.* 54), qui a, comme les précédentes, pour objet et pour effet, au moment de la percussion de l'outil, de soustraire à la réaction la partie supérieure de la tige. Mais il détruit d'une autre manière la solidarité qui doit nécessairement exister entre ces pièces pendant leur soulèvement.

L'axe autour duquel sont assemblées les branches du grapin est logé dans un œil légèrement oblong dans le sens vertical, qui permet un petit mouvement relatif du grapin et du corps supérieur de la tige.

On soulève tout le système d'un mouvement franc et rapide, jusqu'à ce qu'un buttoir placé au jour vienne limiter brusquement la course ascendante. Le grapin continue à se mouvoir d'une petite quantité en vertu de son inertie, et c'est ce petit mouvement qui fait ouvrir ses mâchoires, et laisse échapper l'outil qui redescend aussitôt.

Nous ne voyons pas de motifs décisifs de préférence entre ces divers systèmes, qui ont tous les mêmes propriétés essentielles, à savoir :

1° Possibilité de réduire la partie de la tige solidaire de l'outil, à

Digitized by Google

une masse aussi grosse et aussi courte que l'on voudra, et très-propre, par conséquent, à travailler par percussion.

2° Possibilité de diminuer beaucoup le poids et la section de la partie supérieure de la tige, qui est soustraite aux effets de la percussion, et n'a plus à fatiguer, en quelque sorte, que par traction, soit pour produire le relèvement de l'outil pendant le battage, soit pour le descendre et pour le remonter dans le trou.

Peut-être peut-on penser que la disposition de MM. Degousée, bien qu'un peu complexe, présente un certain avantage au point de vue mécanique, en ce sens qu'elle permet de faire mouvoir le levier de battage, au moyen d'une bielle et d'une manivelle, d'un mouvement continu qui évite les chocs et annule le travail correspondant au soulèvement de la partie supérieure de tiges; d'où il suit que la quantité $\frac{PV^2}{2g}$ est, à la fois, égale au travail moteur dépensé, et proportionnelle à l'effet obtenu sur le fond du trou.

(**85**) A une tige satisfaisant aux conditions ci-dessus, on ajoute volontiers, pour la compléter, un système de *guides* et de *parachutes*.

Les *guides*, distribués sur la longueur de la tige, ont pour objet de la maintenir dans l'axe du trou, et de prévenir ainsi toute dégradation par l'effet de fouettements accidentels. On peut les former, soit par une sorte de cage à claire-voie, ou lanterne (*fig.* 55), qui n'oppose aucune résistance au passage de l'eau, soit par des cylindres en bois ou en fonte, présentant les évidements convenables pour les empêcher de faire piston dans le trou. On annule d'ailleurs complétement cet effet de piston, en laissant à ces pièces, le long de la tige, un jeu supérieur à la plus grande excursion employée pendant le battage.

Le *parachute*, qui peut être en même temps un guide, s'adapte en un point de la partie inférieure de la tige. Il se compose (*fig.* 56) d'une sorte de chapeau, formé de cuirs épais, et fixé à une longue douille mobile le long d'une partie tournée de la tige. Les bords du cuir sont liés à quatre tiges en fer, qui se rattachent au bas de la douille; d'autres bandes de fer recouvrent le cuir et le préservent de l'usure.

Digitized by Google

En supposant qu'une fausse manœuvre détache une longueur de tiges armée de ce parachute, la résistance du chapeau de cuir en ralentira la chute au point de rendre toute rupture impossible. En outre, ce parachute peut s'employer dans des trous à parois ébouleuses, parce qu'il n'arrête pas les pierres qui viendraient accidentellement à se détacher des parois.

(**86**) Au jour, la tige se termine par une tête qui sert à la suspendre, soit à un levier, pour le battage, soit au câble d'un treuil pour descendre ou remonter l'outil. La tête doit être construite de façon qu'on puisse faire tourner indéfiniment la sonde dans le même sens, sans tordre la corde ou la chaîne de suspension. La figure 57 représente une tête simple, munie d'un anneau tournant pour la suspension, et d'un œil, ou de deux œils à angle droit, recevant un levier, ou deux leviers, lorsqu'on veut faire tourner la sonde.

Les figures 58 et 59 représentent des systèmes plus complexes, au moyen desquels on peut, pendant une opération de battage, malgré l'approfondissement progressif du trou, maintenir la tête exactement à la même hauteur ; ce qui est nécessaire pour la commodité du battage, et surtout pour le jeu régulier des ressorts ou des leviers de contre-poids.

Ces systèmes permettent, en même temps, de mesurer, d'après la position de la vis de rallonge, les progrès de l'enfoncement pendant une opération de battage.

(**87**) Le principal outil que l'on emploie pour entailler le terrain au fond du trou est le ciseau, ou le *trépan*, qui agit *essentiellement* par percussion, le petit mouvement de rotation qu'on imprime aux tiges pendant chaque soulèvement, n'ayant pour objet que de changer l'orientation de la lame à chaque coup et d'obtenir un trou bien calibré.

Le trépan est approprié à la plupart des terrains, et dispense d'agir par rodage. On fait le tranchant *d'autant plus aigu* et on donne une hauteur de chute *d'autant moindre* que les terrains à traverser sont *moins durs*.

L'outil doit repasser à la forge après chaque battage. On a soin,

Digitized by Google

après chaque réparation, de s'assurer, avec un anneau calibré au diamètre du trou, que ses dimensions ne sont pas altérées.

On distingue le trépan simple (*fig.* 60), formé d'un tranchant rectiligne unique, applicable aux trous de petit diamètre, de $0^m,25$ et au-dessous ; le trépan à téton ou à amorce (*fig.* 61), d'une forme plus complexe et moins facile à réparer à la forge, mais qui pourrait convenir pour de plus grands diamètres, et surtout pour des terrains très-durs ; le trépan à oreilles venues de forge (*fig.* 62), encore plus difficile à réparer que le précédent, et dont l'objet est de faciliter l'alésage du trou ; enfin les trépans composés, applicables aux trous de grand diamètre, dans lesquels les dimensions du trou ne comportent pas un outil d'une seule pièce, et obligent, pour la facilité de la construction et surtout des réparations, de composer le tranchant principal, celui de l'amorce et ceux des oreilles, au moyen d'un certain nombre de pièces rapportées, dont on a des rechanges, et qu'on démonte pour les repasser individuellement à la forge.

La figure 63 donne un exemple de cette disposition, *indispensable pour les sondages commencés à plus de* 50 *à* 60 *centimètres de diamètre*, et à plus forte raison pour les puits à grande section exécutés par les procédés du sondage (voir n° 79).

(**88**) Au trépan ordinaire servant à l'entaillement, qui est, on le répète, l'outil d'un emploi général, on peut ajouter :

1° *Les alésoirs*, ou outils destinés à égaliser les parois du trou, ou à leur rendre leurs dimensions primitives, dans le cas où ils se seraient rétrécis en certains points, par la poussée au vide et le foisonnement de quelques couches de marne ou d'argile. Les figures 64 et 65 représentent deux exemples de ces alésoirs, qu'on fait agir à la hauteur voulue, en combinant les mouvements verticaux et les mouvements de rotation. Le second a sur le premier l'avantage d'une réparation beaucoup plus facile, parce qu'il peut se démonter en plusieurs pièces qu'on répare séparément ;

2° *Les élargisseurs*, appareils destinés à aller, en dessous d'une partie déjà tubée, prolonger le trou sur un diamètre supérieur au diamètre intérieur du tube ; ce qui sera nécessaire en terrain dur

Digitized by Google

si l'on veut, par exemple, continuer l'enfoncement d'un tubage.

Il faut, pour résoudre la question, composer un outil qui puisse d'abord se resserrer pour passer à l'intérieur du tube ; puis, arrivé dans la région au-dessous du tube, se dilater d'une quantité déterminée et fonctionner ensuite, soit de bas en haut, soit de haut en bas, suivant les cas, pour abattre la petite corniche sur laquelle s'arrête la base du tubage, ou pour continuer l'élargissement en profondeur. Les figures 66 et 67 représentent deux élargisseurs imaginés par Kind, l'un pour élargir en battant de haut en bas, l'autre pour abattre la corniche dont on vient de parler.

3° *Le trépan rubanné* (*fig.* 68), lame de fer aciérée sur les bords, terminée par deux languettes et tordue de manière que ces bords figurent trois ou quatre spires successives d'une hélice à pas plus ou moins allongé. On fait agir cet outil par rotation, en lui imprimant en même temps de petites secousses verticales ; il sert à désagréger des sables légèrement agglutinés, et à les préparer pour le curage ;

4° Enfin *le bonnet carré*, ou *casse-pierre*, prisme à quatre faces terminé par une pyramide obtuse, qui sert à casser ou à refouler de côté, en le logeant dans les parois, quelque corps très-dur tombé au fond du trou (un morceau de fer, un fragment de silex, etc.).

**(89)** Après le fonctionnement des outils d'entaillement ci-dessus, il devient nécessaire d'enlever les débris accumulés au fond du trou, afin de pouvoir mettre la roche à nu, et recommencer, après ce curage, un battage plus efficace.

On a pour cela deux classes distinctes d'appareils, ceux qui agissent par un mouvement de rotation ou de rodage, et ceux qui agissent par un mouvement de battage, ou, comme l'on dit, en *sonnant*, ou en *pompant*. Le type des appareils de la première classe est la cuiller, ou tarière, représentée figure 70. Cet instrument, analogue à la tarière des ouvriers en bois, fonctionne comme celle-ci, au moyen d'une mèche inférieure légèrement inclinée qui pénètre peu à peu dans la masse des débris accumulés au fond du trou, d'une arête tranchante aciérée qui les entaille verticalement, et d'un onglet plan horizontal qui les retient dans le corps de la cuiller.



Digitized by Google

On donne volontiers à l'outil une forme très-légèrement conique vers le haut, favorable au tassement de la carotte de déblais, et on le tient plus ou moins ouvert, selon la plasticité plus ou moins grande que ces déblais peuvent présenter.

La cuiller produit un très-bon curage, et met bien à nu le fond du trou, pour l'opération suivante du battage, toutes les fois que les débris, par leur consistance pâteuse, sont susceptibles de former une carotte compacte et solide.

Un outil de ce genre peut même être employé *pour l'entaillement du terrain*, quand celui-ci est suffisamment tendre. La figure 71 représente la *tarière à glaise* qui pourrait être employée dans une argile très-plastique; la figure 72, la *cuiller à trépan rubanné*, qui conviendrait pour des masses un peu arénacées.

A côté de l'avantage d'un bon curage, avantage qu'il ne faut pas s'exagérer, parce qu'il ne tarde pas à diminuer beaucoup après un certain temps de battage, les appareils ci-dessus ont un grand inconvénient : celui d'exiger beaucoup de temps pour descendre en les assemblant, et remonter en les désassemblant les tiges au bout desquelles ils fonctionnent.

Les appareils de la seconde classe évitent cet inconvénient, parce qu'il suffit de les descendre au bout d'une corde que l'on fait filer rapidement au fond du trou.

La cloche à soupape, ou à boulet, (*fig.* 73 et *fig.* 74), est le type de ces appareils. Elle doit être considérée comme ayant *pour le curage* la même généralité d'emploi que le trépan *pour le battage*. Le travail courant s'exécute donc avec ces deux outils, les autres n'étant employés que dans des circonstances spéciales.

Si les cuillers sont préférables pour le curage à vif dans des terrains plastiques, les cylindres à soupape retiennent les déblais un peu grenus plus efficacement que ne le font ces cuillers plus ou moins ouvertes.

On peut composer des appareils ayant les deux avantages, en employant des cylindres au bas desquels on adapte soit une mèche de tarière, soit un trépan rubanné (*fig.* 75). Les matières, à mesure qu'elles sont entamées par le rodage, passent dans le cylindre

Digitized by Google

au-dessus de la soupape, et celle-ci les retient lorsqu'on remonte l'instrument au jour.

Les outils cureurs ramenés au jour sont vidés, les cuillers à l'aide de raclettes, les cylindres en les renversant, ou parfois (pour les grands cylindres) en ouvrant une petite porte latérale dont ils sont munis. Les débris doivent être examinés soigneusement, afin de pouvoir établir une coupe exacte de sondage. On prend une poignée de ces déblais, et on la délaye dans une petite quantité d'eau ; on voit, à l'aide du lavage à l'augette, si l'on y peut faire plusieurs catégories de matières, que l'on étudie séparément à la loupe, ou en les soumettant à quelques essais chimiques, etc. Un casier d'échantillons doit être disposé pour recevoir un morceau de chacune des carottes ramenées au jour.

(90) On peut vérifier, après coup, les indications de ce casier, en prenant un échantillon du terrain à une hauteur quelconque.

L'outil, employé à cet effet, représenté figure 76, se nomme un *vérificateur*. Il se compose d'abord d'un système de griffes, qui grattent le terrain en s'arc-boutant contre lui, ou qui rentrent dans les mortaises servant à les loger, selon que l'on tourne dans un sens ou dans un autre, et ensuite d'un récipient inférieur dans lequel viennent tomber les débris formés par les griffes.

On peut aller plus loin, et pendant le sondage même, obtenir des carottes qui sont, non pas des matières boueuses contenant un mélange plus ou moins confus de débris provenant des dernières couches traversées et détachés accidentellement des parois, mais bien des morceaux du terrain même que l'on traverse actuellement. On peut en outre orienter ces morceaux arrivés au jour, parallèlement à la position qu'ils avaient au fond du trou; de sorte que s'ils portent des traces apparentes de stratification, ou s'ils sont fossilifères, on arrive à connaître exactement, non-seulement la nature des terrains que l'on traverse, mais encore la direction et l'inclinaison de couches de ce terrain et la nature de leurs fossiles.

On procède pour cela de la manière suivante :

On commence par curer le trou à fond, au moyen de la cuiller.

Ensuite on descend un trépan dont le tranchant est placé excentri-

Digitized by Google

quement, et on va marquer, avec ce tranchant, le témoin de terrain qu'on se propose d'enlever. Pour descendre le trépan dans une position déterminée, on établit, à l'aide de deux fils à plomb, un plan vertical passant par l'axe du trou. Quand on a assemblé, en la serrant à fond, une nouvelle portion des tiges, et qu'on va la faire filer dans le trou, on fixe à sa partie supérieure, à l'aide d'une vis de pression, une règle en bois orientée dans le plan des fils à plomb, et on a soin, la manœuvre faite, de la ramener dans le même plan. On est certain ainsi que l'outil n'a pas tourné en descendant.

L'outil descendu au fond du trou, on bat quelques coups légers sans le faire tourner, et on le ramène au jour.

On le remplace alors par un outil spécial, nommé *découpeur* (*fig.* 77 et 78), formé d'un certain nombre de ciseaux tranchants, plus ou moins longs, disposés en couronne; on le fait agir en rodant et en battant quelques petits coups, et l'on pratique ainsi une sorte de gouttière circulaire autour du témoin qui vient d'être marqué. Enfin on introduit dans cette rainure *l'emporte-pièce*, sorte de cloche (*fig.* 79), qui coiffe le témoin, et qui, au moyen d'un coin enfoncé par le poids des tiges, exerce sur lui une forte poussée latérale. Le témoin ainsi détaché est maintenu par le coin et par un ou deux ressorts fixés extérieurement à la cloche et munis d'un petit rebord tourné vers l'intérieur. On le ramène au jour, et on le repère dans sa position à l'aide de la marque tracée sur sa face supérieure.

On peut répéter cette série d'opérations, et obtenir, dans la traversée des terrains importants à étudier, la coupe même de ces terrains, avec une suite d'échantillons à l'appui, comme si on les avait observés dans une tranchée.

Ce résultat est fort important pour arriver à la connaissance la plus complète possible des terrains que l'on traverse.

Ainsi, par exemple, lorsque le sondage vient à rencontrer une couche de houille, on peut bien, par un examen minutieux d'une carotte ordinaire, distinguer les grains charbonneux, les isoler et les étudier chimiquement; mais ces grains sont généralement entièrement broyés et plus ou moins mélangés de matières terreuses tombées des parois du trou. Cette carotte ordinaire ne fait donc

Digitized by Google

rien connaître, ou presque rien, sur la *pureté* et sur la *consistance* de la couche rencontrée, deux qualités essentielles que l'on apprécie au contraire très-bien sur des morceaux d'un certain volume.

(**91**) Quand on fait une recherche pour sel gemme ou pour argiles salifères, une carotte ordinaire, à cause de la solubilité de la matière, ne peut guère donner d'indication précise, et il peut être intéressant de connaître la salure des eaux au fond du trou.

Le moyen d'obtenir un échantillon de cette eau, est de descendre une petite cloche fermée, en dessus et en dessous, par deux soupapes qui s'ouvrent l'une et l'autre de bas en haut. Ces soupapes fonctionnent lorsqu'on imprime à la cloche un mouvement rapide de haut en bas. On sonne donc quelques coups, lorsque la cloche, descendue à l'aide d'une corde, est arrivée au fond du trou, puis on la remonte au jour.

(**92**) Outre les outils du travail courant et les outils spéciaux ci-dessus, il faut considérer les outils qui servent *en cas d'accident*. Un sondage est une opération qui s'exécute, en définitive, à quelques centaines de mètres de l'œil et de la main de l'ouvrier, et où, par suite, on peut s'attendre à avoir des accidents assez fréquemment, et avec assez peu de ressources pour en bien connaître toutes les circonstances et pour y remédier.

Les instruments employés dans les cas les plus habituels, qui sont des ruptures de tiges, doivent faire partie de l'outillage ordinaire du sondeur.

Ces instruments sont *la caracole* et *la cloche à écrou*.

La caracole (*fig.* 80) est un crochet en fer, recourbé de telle sorte, que le rebord supérieur soit légèrement incliné à l'horizon, et que le repli puisse loger le carré de la tige, mais non le renflement d'un assemblage. On s'en sert en cas de ruptures des tiges, lorsque la rupture a eu lieu *un peu au-dessus* d'un emmanchement. On le descend à l'extrémité d'une ligne de tiges jusqu'en dessous de cet emmanchement. Par un mouvement lent de rotation, on tâche de saisir avec le crochet la tige restée au fond du trou; en remontant, le

Digitized by Google

crochet s'arrête à l'emmanchement, et on ramène le tout au jour.

S'il y avait une grande longueur de tige restée au-dessus de l'emmanchement, elle pourrait s'arc-bouter contre les parois du trou et rendre le relevage impossible. Dans ce cas, c'est-à-dire si la rupture a eu lieu *un peu au-dessous* de l'emmanchement, on emploie la cloche à écrou (*fig.* 81). C'est un tronc de cône allongé portant à l'intérieur un pas de vis. Sa grande base est plus grande que la section d'un emmanchement, et sa petite base plus petite que la diagonale du carré de la tige. Il est prolongé par une sorte de chapeau ou d'entonnoir en tôle, ayant presque la section du trou, qui sert à coiffer la tige, à la ramener dans l'axe et à assurer ainsi son entrée dans la cloche. On descend celle-ci pleine d'un corps gras, et quand elle a saisi la tige, on lui imprime un mouvement lent de rotation qui fait mordre les filets de l'écrou. Le sens de ce mouvement doit être tel qu'il serre les assemblages de la tige, au lieu de tendre à les dévisser. On remonte la cloche quand on suppose que l'écrou a suffisamment mordu pour ramener les tiges en même temps.

A ces deux instruments, qui sont, en quelque sorte, aux accidents, ce que le trépan et la cloche à soupape sont au travail normal, on peut ajouter *le tire-bourre* (*fig.* 82), qui agit à peu près comme la cloche à écrou, et qui sert, lorsque ses spires sont tranchantes à l'intérieur et aciérées, pour saisir un caillou ou un morceau d'outil au fond du trou, ou bien pour ramener la corde de la cloche, quand c'est cette corde et non la tige du trépan qui est restée dans le trou.

L'extraction d'un fragment d'outil ou d'un caillou dur empâté dans la boue n'est pas toujours facile. On a proposé, pour un outil, de le dissoudre avec un acide, en descendant l'acide dans un vase que l'on casserait au fond du trou ; pour un corps dur quelconque, de le broyer à l'aide d'une charge suffisante de nitro-glycérine, que l'on ferait détoner au fond du trou. Le premier moyen suppose la roche inattaquable aux acides ; le deuxième a été, paraît-il, employé avec succès, quoiqu'on puisse redouter les effets produits en même temps sur les parois.

Nous citerons encore parmi les outils à employer, en cas d'accident, *l'accrocheur à pince*, représenté figure 83. Cet instrument consiste en une sorte de cloche en tôle, dans laquelle s'engage la

Digitized by Google

partie supérieure de la tige rompue. Une fois engagée, elle passe entre les deux branches d'une pince, dentelées et aciérées intérieurement, qui la laissent librement monter entre elles, mais qui se resserrent fortement lorsqu'on commence à remonter l'instrument. Les branches sont maintenues d'abord écartées par un tasseau en bois, que la tige fait tomber lorsqu'elle vient s'engager dans la pince. Ce tasseau tombé, les branches commencent à serrer la tige, à cause de leur forme extérieure qui les coince entre la cloche et la tige, à mesure qu'elles tendent à descendre, par leur poids d'abord, puis par le fait même de la traction qu'on exerce pour remonter tout le système.

C'est l'outil qu'on emploiera, si la tige étant cassée un peu au-dessous d'un emmanchement, l'emploi de la caracole est exclu, et si, en même temps, la tige n'étant pas retenue par un outil plus ou moins engagé au fond du trou, tourne trop facilement sous l'action de la cloche à écrou.

(**93**) Une opération qu'on a fréquemment à faire, est celle du tubage du trou. On peut s'attendre à être obligé de la faire, et s'outiller, dès l'abord, en conséquence, si l'on doit traverser sur une épaisseur notable des sables ou autres terrains ébouleux. On la fera presque nécessairement, s'il s'agit non d'un sondage de recherche, mais d'un puits artésien destiné à rester ouvert indéfiniment.

Dans le premier cas, on pose ce qu'on appelle des *tuyaux de retenue.*

Dans le second cas, le tubage est *définitif.*

Les tuyaux de retenue se font exclusivement en tôle de fer. Cette tôle doit être très-douce, pour bien résister aux efforts divers que ces tuyaux ont à supporter pendant et après leur mise en place. On donne à ces tuyaux de 2 à 5 millimètres d'épaisseur, selon leur diamètre, dans les sondages de dimensions ordinaires, c'est-à-dire ayant de $0^m,10$ à $0^m,50$ de diamètre.

Les tuyaux arrivent sur le chantier tout préparés, portant à un bout le manchon qui sert à leur assemblage. Tous les rivets doivent, tant à l'intérieur qu'au dehors, avoir leurs têtes arrondies et très-peu saillantes, pour présenter le moins de résistance possible, soit

Digitized by Google

au terrain pendant leur enfoncement, soit au mouvement de va-et-vient des tiges et des outils pendant le forage du trou; les tuyaux sont d'ailleurs habituellement trop minces pour permettre l'emploi des têtes fraisées.

L'assemblage des tuyaux se fait au fur et à mesure de leur descente, à l'aide du manchon que porte déjà le tuyau inférieur et dans lequel on fait entrer le bas du tuyau suivant. Quand les bords des deux tuyaux sont bien en contact et qu'on a tourné convenablement celui du dessus, les trous percés à l'avance dans le manchon et dans ce tuyau doivent être en correspondance.

On descend alors successivement, avec une ficelle, les petits boulons qui doivent servir à fixer le second tube; à l'aide d'un crochet en fil de fer, passé dans un des trous, on va chercher la ficelle qui pend à l'intérieur du tube; on amène le boulon en place, on visse l'écrou, on coupe la queue du boulon qui dépasse, et on matte (voy. *fig.* 84).

On peut aussi, bien que la position verticale et la longueur du tuyau, qui a généralement $1^m,50$ à 2 mètres, ne rende pas l'opération très-commode, faire l'assemblage avec des rivets; toutefois la rivure ne peut se faire qu'à froid. La figure 85 représente un outil à l'aide duquel on peut d'abord descendre, à la fois, tous les rivets, puis, lorsqu'ils sont en place, amener en regard de leurs têtes une masse mobile que l'on met en serrage au moyen d'un levier.

(**94**) Les tubages définitifs peuvent être en tôle de fer comme les tuyaux de retenue.

Mais la tôle de fer est sujette à s'oxyder avec le temps, et à se percer par places.

On évite, ou du moins on retarde les inconvénients qui en résultent, en prenant de la tôle forte, de 4 à 5 millimètres et jusqu'à 10 millimètres pour les grands diamètres, tandisque 2 à 3 millimètres ou 5 millimètres au plus, comme on vient de le dire, suffiraient pour les tuyaux de retenue. On a même fait des tuyaux de $0^m,02$ d'épaisseur, formés de deux feuilles superposées de $0^m,01$, à joints croisés dans le sens horizontal et dans le sens vertical, ce qui permet de supprimer le manchon d'assemblage. Comme d'ailleurs les rivets

Digitized by Google

peuvent, avec cette épaisseur de tôle, être à tête fraisée, on obtient, extérieurement et intérieurement, une surface parfaitement lisse.

A la tôle de fer on a substitué de la tôle de zinc, ou plus souvent de cuivre rouge. On a aussi employé des tuyaux de fonte simplement vissés les uns aux autres, chaque tuyau portant à l'une de ses extrémités un pas de vis extérieur, et à l'autre une douille taraudée intérieurement.

Enfin, on a fait aussi des tuyaux en bois, qui sont très-bons, mais dont l'inconvénient est la grande épaisseur relativement à celle des tuyaux métalliques, d'où résulte une diminution correspondante de la section utile du trou de sonde. Dans les anciens puits artésiens à petite section, ces tuyaux de bois étaient formés simplement de troncs d'arbres forés, assemblés par emboîtement les uns à la suite des autres. Pour des puits d'un grand diamètre, les tuyaux sont faits au moyen de douves étroites, de quelques centimètres d'épaisseur, serrées par des frettes et constituant comme une sorte de long tonneau.

Le bois employé est le chêne, l'orme ou l'aulne, dont la durée, quand ils sont constamment mouillés, est très-considérable, pratiquement indéfinie. On en connaît, dans l'Artois, qui durent depuis plus de sept cents ans.

(**95**) L'emploi des tuyaux, qu'il s'agisse de simples tubes de retenue ou d'un tubage définitif, nécessite quelques additions à l'outillage précédemment décrit, soit pour les mettre en place, soit pour les retirer, si l'on abandonne le trou, ou si l'on veut les remplacer.

Lorsqu'on ne veut pas tuber le trou jusqu'au jour, mais poser simplement ce qu'on appelle *une colonne perdue*, pour soutenir une petite hauteur de terrains ébouleux qui se trouverait à la suite d'une grande épaisseur de terrains solides, on peut employer les dispositions indiquées aux figures 86 et 87.

La première de ces figures représente un emmanchement dit à baïonnette, qui permet de porter la colonne perdue au niveau voulu, et de l'y laisser en dégageant les tiges par un petit mouvement de rotation.

L'outil représenté sur la seconde de ces figures est composé de

Digitized by Google

deux branches que leur élasticité rapproche l'une de l'autre, et qu'on maintient écartées pendant la descente, de manière que les goujons, dont leur face externe est munie, soient engagés dans des trous ménagés dans le tuyau. La pose faite, on dégage l'outil, en tirant, à l'aide d'une ficelle dont un des bouts est resté au jour, sur le court levier articulé qui maintient les deux branches écartées. Avec l'un comme avec l'autre de ces deux outils, on donne à la partie supérieure de la colonne une légère entrée conique, pour éviter un rebord saillant sur lequel pourraient venir porter les tranchants des outils à leur descente dans le trou, au préjudice de ces tranchants et de la colonne elle-même.

Un petit évasement analogue, mais moins prononcé, peut être donné au bas de la colonne, pour qu'il n'y ait pas danger d'arrachement pendant la remonte des tiges. Ce bord doit d'ailleurs être aciéré et à tranchant un peu obtus.

Ces colonnes perdues sont rarement employées. Le plus souvent la colonne monte jusqu'au jour, et c'est du jour qu'on la manœuvre.

Si cette colonne ne descend pas librement sous l'action de son poids, ou à l'aide d'un poids additionnel, on l'enfonce à coups de mouton. On coiffe le tuyau supérieur par un bloc de bois armé de frettes, sur lequel on fait agir le mouton. Ce bloc est percé d'un trou central suffisant pour laisser passer les renflements des tiges; on peut alors former le mouton par un simple disque en fonte, ou par un autre gros bloc de bois également fretté, qu'on fixe vers le haut de la tige, et auquel on donne le poids nécessaire en attachant au-dessous une longueur suffisante de tiges qu'on laisse pendre dans le trou. On aide à l'effet du mouton, en imprimant en même temps au tube de petits mouvements tournants alternatifs, à l'aide d'un collier fortement serré sur la colonne et muni de leviers (voy. *fig.* 88 et 89).

Le battage à coups de mouton n'est pas très-efficace, lorsqu'on a une grande longueur de colonne déjà enfoncée ; le choc se perd, en grande partie, en vibrations inutiles de la masse de la colonne et du terrain en contact avec elle.

En outre, on risque de dégrader le tuyau, et, enfin, les terrains,

Digitized by Google

égrenés, en quelque sorte, par ces vibrations, frottent davantage contre la surface externe.

La figure 90 indique une disposition plus efficace, au moyen de laquelle on substitue au choc l'effet d'une pression continue. Les deux pièces de bois sur lesquelles on prend le point d'appui doivent être solidement fixées au sol. Elles passent sous les semelles de l'engin de manœuvre, et au besoin sont chargées de poids additionnels.

Ce qui vient d'être dit suppose que les tubes éprouvent de la résistance à l'enfoncement.

Il n'en est pas toujours ainsi, surtout lorsqu'on descend le tubage définitif.

Un tel tubage, supposé seulement de 1 mètre de diamètre et en tôle de $0^m,02$ d'épaisseur, pèserait dans l'eau 450 kilogrammes par mètre courant. On aurait donc un poids énorme à soutenir, tant que le tuyau ne frotterait pas fortement contre le terrain.

En pareil cas, ce n'est pas pour le *faire descendre*, mais bien pour *le retenir*, que des dispositions doivent être prises.

On peut les soutenir, soit au moyen d'une mâchoire en bois fortement serrée contre eux et arrêtée par une clef de retenue, soit à l'aide de tirants que l'on manœuvre comme on l'indiquera plus loin, en parlant des puits creusés par les procédés de MM. Kind et Chaudron (chapitre IX).

(**96**) Quant à l'extraction des tubes, elle se fait à l'aide de divers outils que l'on nomme des *arrache-tuyaux* et des *coupe-tuyaux*.

L'arrache-tuyaux, ou *navette de Kind* (*fig.* 91), est formé d'un bloc de bois, renflé au milieu, et fixé à une tige que l'on assemble à celles de la sonde. Il entre avec un faible jeu dans la colonne des tubes. On le descend surmonté par un tuyau ouvert aux deux bouts, rempli de sable graveleux. Arrivé à la hauteur voulue, on fait remonter le tuyau à l'aide d'une corde ; le sable se répand au-dessus de la navette, se coince entre celle-ci et les tubes, qui sont ainsi forcés de remonter quand on soulève la navette.

L'*arrache-tuyaux à coins*, de M. d'Alberti (*fig.* 92), fonctionne d'une manière tout à fait analogue, sauf que le sable est remplacé par un manchon formé de douves minces cerclées par le haut et pou-

Digitized by Google

vant s'écarter par le bas. Ces douves sont taillées en forme de coin, et se logent entre le tuyau et le bloc de bois.

Si la colonne de tuyaux ne voulait par remonter tout d'une pièce, ce qui arrive souvent lorsqu'elle est trop longue ou placée depuis longtemps, à cause du frottement des parois du trou sur la surface externe des tuyaux, il faudrait couper la colonne, et ensuite la remonter par tronçons successifs.

On a proposé, et l'on emploie à cet effet, une très-grande variété d'outils. Celui qui est représenté fig. 93 opère sûrement, par un mouvement prolongé de rodage, même sur les tôles les plus épaisses. On arrive facilement à le dégager et à le remonter au jour; après quoi on fait agir successivement, sur chacun des tronçons, l'un des arrache-tuyaux ci-dessus décrits.

### § 3. — Des engins employés dans l'exécution des trous de sonde.

(**97**) Les appareils décrits dans le paragraphe précédent constituent l'outillage le plus habituellement employé, soit pour le travail courant et normal du forage et du tubage, soit pour les diverses circonstances spéciales qui peuvent se présenter dans le cours du travail.

On n'a décrit que les types essentiels, et l'on doit concevoir qu'en cas d'accidents imprévus, il appartient à la sagacité et à l'expérience du chef sondeur d'approprier ses moyens d'action au cas particulier qui se présente.

On commencera donc le travail du sondage avec un outillage simple, comprenant une tige munie des divers accessoires décrits, avec un trépan plus ou moins complexe, selon le diamètre du trou, une cloche à soupape ou à boulet munie de son câble, quelque accrocheur simple comme la caracole, et enfin quelques tubes de retenue, en prévision d'un tubage partiel du trou, tubage qui doit être fait *aussitôt que l'utilité en est reconnue*, afin de ne pas donner aux éboulements le temps de s'aggraver.

Ces divers instruments caractérisent ce qu'il y a de spécial dans l'outillage du sondeur. Quant aux engins au moyen desquels ils

Digitized by Google

sont mis en œuvre, ils n'ont pas le même caractère de spécialité, et ils peuvent être plus sommairement décrits.

(**98**) L'engin principal est une chèvre, qui peut être établie avec toutes les variétés que comporte un tel appareil, selon l'importance du forage, depuis la simple chèvre de maçon, formée d'un châssis triangulaire maintenu par des haubans dans une position voisine de la verticale, jusqu'à une construction fixe, se rapprochant de l'importance d'un chevalement placé sur le puits d'extraction d'une mine, et souvent même le dépassant de beaucoup en hauteur; l'essentiel est, en effet, de se procurer *un point d'appui élevé.* C'est à l'aide de cette chèvre, au moyen de poulies placées à la partie supérieure, que l'on descend et remonte la tige dans le trou, en assemblant ou désassemblant les diverses parties.

La grande hauteur de la chèvre abrége beaucoup, comme on le conçoit, la durée de la manœuvre. On fera donc cet engin d'autant plus haut que le trou sera destiné à être plus profond, et on aura soin de lui donner une hauteur utile multiple de la longueur adoptée pour les diverses tiges.

A la condition de hauteur, la chèvre doit joindre celle d'une solidité largement suffisante. On remarquera que lorsqu'on soulève la tige avec un câble qui revient vers le niveau du sol s'enrouler sur un treuil quelconque, le sommet de l'engin supporte un effort égal à la tension du câble augmentée du poids des tiges et de leurs accessoires, ou, plus généralement, augmentée de la résistance opposée au soulèvement des tiges, laquelle sera supérieure à leur poids, toutes les fois que l'outil se trouvera plus ou moins engagé au fond du trou par quelque accident.

Le mouvement d'ascension est donné aux tiges par une rotation imprimée au treuil sur lequel s'enroule un câble passant sur la poulie supérieure et venant s'attacher à la tige.

Ce treuil peut être mû, soit d'une manière intermittente à l'aide de leviers, comme celui d'une chèvre de maçon (ce qui ne conviendrait que pour un forage d'un petit nombre de mètres), soit d'une manière continue, à l'aide de manivelles, ou d'une roue à chevilles, soit, s'il a son axe vertical, à l'aide des barres d'un cabestan sur lesquelles

Digitized by Google

agissent des hommes, ou à l'aide des bras d'un manége quand on emploie des chevaux, etc., etc.; en un mot, on peut lui appliquer les diverses dispositions connues pour utiliser la force des moteurs animés (*Cours de machines*, chap. II).

Mais on doit reconnaître que des moteurs animés sont peu appropriés à cet emploi pour un grand sondage; car la force à leur demander, et par conséquent leur nombre, augmentent proportionnellement au poids des tiges ou à la profondeur du trou, et ce nombreux personnel reste oisif, ou n'a pas sa force suffisamment employée, pendant une bonne partie de la journée.

Le système à préférer, pour un grand sondage, semble être de recourir à l'emploi de la vapeur. Les choses pourront être très-convenablement disposées de la manière suivante :

Le moteur sera une machine horizontale fixe, à un ou deux cylindres, ou bien une machine locomobile de la force de quelques chevaux.

Elle commandera par l'intermédiaire d'une courroie (de préférence à un engrenage), comme dans une machine d'extraction, un tambour, ou deux bobines, qui recevront, le tambour, deux câbles ronds, ou les bobines, deux câbles plats, s'enroulant en sens contraire et passant sur deux poulies établies en haut de la chèvre. La longueur des câbles sera réglée de manière que leurs extrémités arrivent simultanément au bas et au haut de la chèvre, et qu'on puisse ainsi faire en même temps les manœuvres d'accrochage et de décrochage au bord du trou et à la tête de la chèvre.

On évite ainsi des pertes de temps.

La chèvre sert, avons-nous dit, à descendre l'outil pour le battage et à le remonter quand le battage est terminé.

Pour cela, les tiges s'attachent, soit directement au bout du câble, soit, quand le poids à manœuvrer est considérable, à la chape d'un système mouflé soutenu par un câble.

La manœuvre comporte d'assembler ou de désassembler les tiges par portions successives de toute la longueur que permet la hauteur de l'engin. A cet effet les tiges déjà assemblées qui pendent dans le trou, sont retenues sur le plancher de manœuvre au moyen d'une clef spéciale, ou *clef de retenue* (*fig.* 94), sur laquelle repose l'embase

Digitized by Google

réservée au-dessous de la partie mâle de chaque assemblage. On visse ou on dévisse un assemblage avec une clef ordinaire à long manche (*fig.* 95) qui embrasse la partie carrée des tiges. Chaque longueur de tige, qu'on assemble ou désassemble, est attachée á l'un des câbles, soit par une *fausse-tête* (*fig.* 96), soit par une pièce dite *pied-de-bœuf* (*fig.* 97). Cette pièce est fixée invariablement au câble, et sert à attacher successivement les diverses longueurs de tiges; ou bien, on en a autant que de longueurs de tiges, et elles ne se fixent au câble que par un crochet. Dans ce dernier cas, en laissant chaque pièce attachée à une longueur de tige, on peut tenir les tiges suspendues pendant qu'elles sont hors du trou, au lieu de faire reposer leur pied sur le sol, ce qui contribue à les maintenir bien droites. Pour cette suspension, la fausse tête ou le pied-de-bœuf, est muni d'un crochet qui permet de les accrocher à une forte tige de fer fixée à la charpente de la chèvre.

(**99**) L'appareil employé pour le battage est le *levier à secteur*, ou *bascule*, à la chaîne duquel on attache la tête lorsque l'on a détaché la corde de l'engin.

Cet appareil est souvent mû à bras d'hommes, soit à l'aide d'un faisceau de cordes comme la sonnette à tiraude, soit à l'aide de leviers horizontaux implantés perpendiculairement, comme une pompe à incendie.

On peut encore employer un bout de câble faisant deux ou trois tours sur un treuil auquel on donne un mouvement de rotation continu; pendant ce temps un ouvrier tient en main le bout libre du câble, et produit le battage, en tirant et choquant alternativement. Un effet analogue s'obtient en attachant le câble à un point convenablement choisi, sur un levier mis en mouvement par une came fixée sur un arbre horizontal actionné par des manivelles.

Mais le meilleur système, qui se combine très-bien avec l'emploi du treuil à vapeur ci-dessus décrit, sera d'employer la vapeur pour le battage, aussi bien que pour la descente et la remonte de l'outil. Le type d'appareil récepteur à employer pourra être une seconde machine à vapeur à un seul cylindre, à simple effet, fonctionnant à la main, comme la machine d'un marteau-pilon. Elle sera à *action*

Digitized by Google

*directe*, si la vapeur étant admise sous le piston, celui-ci agit directement sur la tige à soulever. Elle sera à *balancier*, si la vapeur étant admise sur le piston, il agit pour abaisser la queue d'un levier à secteur. On peut aussi faire l'opération du battage avec la même machine qui sert à la manœuvre de la chèvre de relevage; ce qui offre, au point de vue mécanique, l'avantage signalé au n° 84.

Pendant le battage, on doit, en général, agir par un mouvement de rotation sur les tiges, afin de forer un trou cylindrique. Cette rotation se donne pendant que la tige est soulevée, sur un 10e ou un 15e de tour. Cette manœuvre se fait toujours à bras, à l'aide d'une pièce dite *manivelle*, qu'une vis de pression fixe à la hauteur voulue (*fig.* 98). Elle est faite par le chef du poste lui-même, ou par un ou deux hommes de confiance. Il est important qu'elle soit conduite avec soin et attention, afin de ne laisser échapper aucune circonstance d'où un accident pourrait résulter.

(**100**) *Pour le curage*, comme on doit employer ordinairement la cloche à soupape sans le secours des tiges, on a habituellement un treuil spécial sur lequel est enroulée la quantité de corde nécessaire. Cette corde passe sur une poulie qu'on place à l'aplomb du trou, au moment de l'emploi. Elle sert à descendre l'instrument; on la laisse filer dans le trou, en réglant la descente avec un bon frein disposé sur l'arbre du treuil.

On la remonte au moyen de manivelles, qui servent également à lui donner le mouvement de va-et-vient, ou de pompage, à l'aide duquel on remplit la cloche au fond du trou.

On peut également produire ce dernier mouvement à l'aide du levier à secteur, et ensuite remonter l'instrument par une transmission de mouvement en relation avec la machine à vapeur, à laquelle on donnera alors un mouvement continu, après avoir débrayé les bobines de l'appareil de relevage.

Digitized by Google

### § 4. — De l'exécution d'un sondage.

(**101**) L'exécution d'un sondage comporte d'abord le choix d'un emplacement. Les considérations géologiques sur lesquelles on s'appuie pour entreprendre un travail de ce genre, indiquent bien *la région*, mais nullement l'*endroit précis* où il convient de l'établir.

On achève de se fixer par des considérations d'un autre ordre. On se placera au voisinage d'un chemin facilitant l'accès ; on évitera, si l'on peut, les points où il existe des alluvions épaisses et aquifères; on se préoccupera de l'eau d'alimentation, si l'on doit employer la vapeur, etc., etc.

L'emplacement une fois choisi, on commence par foncer un petit puits, jusqu'au terrain solide; on le boise ou on le muraille, et l'on établit solidement dans son axe un tuyau-guide, en bois ou en tôle, bien vertical et ayant le diamètre intérieur sur lequel on veut commencer le trou.

Le haut de ce tuyau s'arrête un peu en contre-bas du niveau du plancher qui recevra les ouvriers pour les manœuvres, et il n'a avec ce plancher aucune solidarité, de manière à lui éviter des ébranlements susceptibles de déranger sa position.

Le plancher sur lequel on fait les diverses manœuvres de rodage, d'assemblage et de désassemblage des tiges, etc., est, autant que possible, en contre-bas du sol naturel, ce qui dégage les abords au niveau du sol, et, en même temps, équivaut à augmenter d'autant la hauteur disponible de l'engin.

Ces dispositions prises, on commence par battre à la main et à curer à la cuiller, sur quelques mètres de profondeur en contre-bas du tuyau-guide. En même temps on fait l'approche des matériaux ; on procède au montage de l'engin et des autres appareils, et l'on installe une barraque qui doit pouvoir abriter, non-seulement tout l'atelier destiné au travail même du sondage, mais encore les espaces annexes nécessaires pour recevoir la forge avec son petit outillage, un magasin, un bureau fermant à clef avec l'ameublement ordi-



Digitized by Google

naire et des casiers pour échantillons, un logement pour un gardien ou pour le chef du sondage, etc., etc.

Le travail peut alors prendre sa forme définitive. Une fois qu'il est bien en train, les opérations que l'on aura à exécuter journellement seront, autant qu'on le pourra, exécutées dans un ordre constant et méthodique, suivant le programme suivant :

Descendre un trépan dans le trou à l'aide de l'engin ;

Battre avec ce trépan pendant quelques heures ;

Le remonter à l'aide du même engin ;

Enfin, curer avec la cloche à soupape.

Les opérations qui pourront être exécutées *en travail normal*, mais non *quotidiennement*, pourront consister à travailler avec un alésoir, à curer avec la cuiller, à introduire ou extraire une ligne de tuyaux, à prendre des échantillons, etc.

Enfin, les *opérations accidentelles* pourront être d'aller chercher une ligne de tiges tombées au fond du trou, ou restées prises par un éboulement, de redresser le trou s'il tend à dévier de la verticale, de ramener un morceau d'outil, ou un autre corps dur, empêchant le travail du trépan, etc., etc.

Les détails précédemment donnés sur les outils et sur les engins font comprendre, d'une manière générale, ce que peuvent être ces diverses opérations.

Nous avons cependant quelques observations à ajouter.

*Opérations courantes journalières.* — En parcourant le journal des opérations d'un grand sondage, on reconnaît que le travail normal d'un poste consiste habituellement, ainsi qu'on vient de le dire, à descendre le trépan (opération qui pourra prendre une couple d'heures quand on sera arrivé à plusieurs centaines de mètres), à battre avec le levier à secteur, en tournant à l'aide de la manivelle, à remonter l'outil (ce qui ne demande pas sensiblement plus de temps que pour le descendre), à descendre la cloche, à la faire sonner, à la remonter et à la vider, et, enfin, à remettre le trépan sur le trou, pour être prêt à recommencer de suite la descente au poste suivant.

*Opérations accessoires.* — Les opérations *normales*, mais non journalières, indiquées ci-dessus, viennent, de temps en temps, troubler cette régularité de marche, et il ne faut pas qu'elles soient bien

Digitized by Google

importantes pour faire perdre le travail d'avancement d'un poste, en ce sens qu'il ne reste plus le temps nécessaire pour descendre le trépan, battre comme à l'ordinaire, et le remonter.

On peut donc avoir une certaine tendance à ajourner ces opérations accessoires, à attendre, pour les faire, qu'elles soient devenues urgentes et indispensables.

C'est là, peut-on penser, une pratique à éviter. Le principe contraire doit prévaloir, et une telle opération doit être faite, *dès qu'on soupçonne qu'elle pourra devenir utile.* On évite ainsi des accidents qui peuvent avoir les conséquences les plus fâcheuses. Tel de ces accidents peut arrêter des jours, des semaines, des mois entiers, ou même forcer de renoncer définitivement au sondage.

*Opérations accidentelles.* — Ces opérations sont, par leur nature même, impossibles à décrire systématiquement; car elles peuvent et doivent varier, en quelque sorte, indéfiniment, selon les circonstances particulières de l'accident.

Nous devons dire cependant, d'une manière générale, que ces accidents méritent, de la part du sondeur, toute son attention, pour tâcher de les éviter, et toute son habileté et en même temps toute sa persévérance, pour arriver à les réparer. On pourrait penser, pour beaucoup d'accidents, au moment où ils se produisent, qu'ils ne sont pas réparables, et qu'on n'a rien de mieux à faire que d'abandonner le forage. Si, par exemple, un outil coincé au fond du trou par des éboulements, a fait rompre les tiges quand on a voulu le retirer, n'a-t-on pas lieu de craindre, si l'on fait une nouvelle tentative avec une caracole ou quelque autre accrocheur, que les choses étant restées en l'état, ou ne produise d'autre effet que de rompre les mêmes tiges sur quelque autre point?

Il n'en est pas toujours ainsi cependant. Ce qu'on n'a pas obtenu du premier coup, on peut arriver à l'obtenir, en répétant avec précaution les efforts exercés, en les variant et les combinant de diverses manières.

A un effort de traction simple, par exemple, exercé en bandant le câble de l'engin, on ajoutera des efforts de torsion, exercés dans un sens constant ou alternativement dans les deux sens, avec ou sans secousses; ou bien on substituera à une traction continue une sé-

Digitized by Google

rie de secousses de bas en haut, qui produiront, peu à peu, une suite de petits mouvements, dont l'amplitude ira croissant jusqu'à ce que le dégagement cherché se produise.

Ainsi, par exemple, si l'on veut chercher à exercer une action énergique de bas en haut sur une ligne de tiges ou sur une colonne de tuyaux, on les serrera très-fortement entre deux mâchoires en bois, après avoir donné sur leurs faces quelques traits de burin destinés à augmenter l'adhérence ; puis, au moyen de longs leviers élastiques en bois, à l'extrémité desquels on exercera des pesées, on produira une série de secousses agissant de bas en haut sous ces deux mâchoires.

Une disposition, qui sera souvent d'un grand secours, consistera à intercaler dans toute tige que l'on introduira dans le trou, pour y faire quelque manœuvre accidentelle, un joint à coulisse de Kind (n° 83), à l'aide duquel on pourra produire sur la partie de tiges inférieure à ce joint, soit de haut en bas, soit de bas en haut, selon les cas, des séries de secousses souvent très-efficaces pour amener un dégagement. On peut d'ailleurs employer cet artifice, non-seulement en cas d'accident, mais aussi comme annexe indispensable de certains outils. Ainsi, par exemple, pour les outils élargisseurs, (*fig* 66 et 67), il faut, pour pouvoir les remonter après emploi, dégager le coin qui a produit l'expansion de leurs branches. Pour cela, on l'attachera à la ficelle qui a servi à le mettre en prise, non pas directement, mais par l'intermédiaire d'un petit système à coulisse, dont la partie supérieure agira sur la partie inférieure comme une sorte de marteau, lorsqu'on voudra faire retomber le coin.

Le cas, ci-dessus indiqué, d'un trou tendant à se dévier de la verticale est un accident assez sérieux, et en même temps difficile à éviter dans des terrains très-relevés, présentant des alternances de couches dures et tendres, ou bien lorsqu'on vient à rencontrer un joint de faille très-incliné. Le moyen qui semble indiqué, quand on s'aperçoit de la déviation, est de remblayer la hauteur déviée avec des cailloux très-durs, tels que des silex, de les tasser fortement et de recommencer le forage à travers cette masse. Si l'on traversait une couche très-mince de sable très-fin et très-coulant, plutôt que de descendre, pour l'arrêter, une colonne perdue, au-dessous de laquelle on est obligé de réduire le calibre du trou, on jette dans le trou,

Digitized by Google

non plus comme dans le cas précédent, des pierres dures, mais au contraire des mottes de terre glaise que l'on comprime fortement en les battant avec un tampon de bois, et on reperce à travers leur masse avec la tarière à glaise. Ce moyen peut réussir avec de petites hauteurs de sable et de petits diamètres de trou, ou encore avec des trous plus importants, pour faciliter la mise en place d'une ligne de tubes, à travers une couche sableuse.

Ces exemples pourraient être multipliés ; mais, quoiqu'on fasse, on ne parviendra pas à énumérer tous les incidents que l'on rencontrera dans la pratique. Pour chacun d'eux, la sagacité et l'expérience acquise doivent suggérer des moyens spéciaux, qui, malgré tout, restent parfois insuffisants.

(**102**) Les indications qui précèdent se rapportent au procédé le plus ordinaire de sondage, qui constitue ce qu'on nomme *le sondage à la tige.*

Il convient de dire quelques mots d'un autre procédé, qui a été recommandé à diverses reprises, et que l'on désigne sous le nom de *sondage à la corde*, ou *sondage chinois.*

Le premier nom fait pressentir en quoi consiste le procédé ; le second lui a été donné, parce qu'il semble être, ou avoir été, employé en Chine, d'après ce qu'on peut conclure de quelques courtes descriptions données par des missionnaires.

Le principe du système consiste à employer une corde analogue à celle qui sert pour la cloche à soupape, *aussi bien pour le battage que pour le curage.*

On doit se représenter que la tige se réduit, à la partie inférieure, à la coulisse, c'est-à-dire à une partie *courte et massive*, ayant le poids nécessaire pour faire agir efficacement le tranchant de l'outil, et en même temps *assez longue* et assez bien guidée pour maintenir la verticalité du trou.

Il est bon d'ailleurs, par les motifs indiqués au numéro précédent, d'interposer un joint à coulisse entre la corde et l'outil.

L'avantage *essentiel* qu'on se propose par l'emploi du sondage à la corde, est de supprimer le temps perdu par l'assemblage et le désassemblage des tiges, quand on travaille au trépan, et de donner,

Digitized by Google

sous ce rapport, au travail du battage, la même rapidité d'allure qu'à celui du curage à la cloche.

Cet avantage est évident, et il serait d'ailleurs d'autant plus appréciable que le sondage serait arrivé à une plus grande profondeur.

Malheureusement, c'est précisément pour ces sondages très-profonds que l'emploi de la corde est, sous d'autres rapports, le moins indiqué, soit à cause des difficultés qui résultent de l'extensibilité et de la flexibilité de la corde, même quand on emploie des cordes en fil de fer, soit, principalement, à cause du peu de ressources que le système offre en cas d'accident, ou lorsque, par une circonstance quelconque, on est conduit à agir par rotation. Or, il est rare que dans le cours de l'exécution d'un sondage profond, ces circonstances ne se produisent pas, et même à plusieurs reprises.

On peut donc penser qu'une série de tiges rigides doit *obligatoirement* faire partie de l'outillage, même pour un forage que l'on voudrait faire à la corde.

Deux autres avantages attribués au sondage à la corde sont, d'une part, qu'on a un poids moindre à manœuvrer, et, d'autre part, que cette manœuvre ne comporte pas la nécessité, ni même l'utilité de se procurer un point d'appui solide et à une grande hauteur ; d'où résultent l'emploi d'un personnel moins nombreux pendant le travail et une moindre dépense de première installation.

On peut répondre d'abord, qu'avec une bonne organisation et l'emploi de la vapeur, le personnel peut, même avec le sondage à la tige, être fort réduit, et, pour ainsi dire, indépendant de la profondeur ; et ensuite qu'une première installation trop sommaire, faite en vue seulement de l'emploi de la corde, serait insuffisante, à un moment où l'emploi de la tige viendrait à être accidentellement nécessaire.

Je pense donc qu'au lieu de chercher, en commençant un sondage, à s'organiser pour l'exécuter à la corde, en ne considérant l'emploi de la tige que comme une éventualité plus ou moins éloignée ; on doit, en quelque sorte, *renverser les termes de la question*, s'installer et s'outiller complétement comme pour travailler à la tige, sauf, pour les passées de terrain qui le comporteraient, c'est-à-dire dans lesquelles l'horizontalité et la solidité des terrains pa-

Digitized by Google

raîtraient offrir peu de chances d'accidents, à faire le battage à la corde.

Ce système mixte serait d'ailleurs peu praticable pour les forages à grand diamètre, où l'on compte par milliers de kilogrammes le poids à manœuvrer.

Telles sont, à mon avis, les limites dans lesquelles il convient de se renfermer dans l'emploi du sondage à la corde ; et, en fait, après avoir été préconisé et même employé avec quelque succès, après avoir été l'objet de diverses améliorations de détail fort ingénieuses, il ne s'est pas répandu dans la pratique, et on peut le considérer aujourd'hui comme à peu près abandonné.

On a cherché à le compléter et à le perfectionner par une disposition spéciale, désignée par son inventeur sous le nom de *sonde française*, caractérisée par l'emploi de tubes de retenue qu'on enfonçait au fur et à mesure de l'avancement, en leur imprimant un mouvement de rotation qui se transmettait à l'outil pendant le battage. On avait ainsi l'avantage de faire un trou rond et de prévenir les dégradations que peut produire le fouet de la corde sur les parois.

Ce système n'a pas survécu à son inventeur.

(**103**) Un autre système, différent du sondage à la corde, consiste à employer des tiges en fer creux. Théoriquement une tige en fer creux a la même résistance à la traction qu'une tige en fer plein de section égale, et, en même temps, une résistance plus grande à l'écrasement et surtout à la torsion. Mais en réalité les fers creux, pour avoir une épaisseur pratique suffisante, auront une section plus grande que la tige de sonde pleine qu'ils peuvent remplacer, et d'autant plus grande qu'ils seront plus gros ; ils seront donc toujours plus lourds, et ils seront aussi plus chers, tant à cause de leur poids plus grand par mètre courant qu'à cause de leur prix plus élevé par unité de poids.

Mais l'avantage qu'on cherche à leur emploi est de les faire agir comme instruments de curage, en même temps que le trépan qu'ils portent à leur extrémité agit comme instrument de forage. A cet effet, on injecte de l'eau dans leur intérieur avec une pompe foulante. Cette eau sort par un trou placé à la base des tiges, et déter-

Digitized by Google

mine à l'intérieur du trou un courant ascendant, qui enlève et ramène au jour les matières, ou au moins les matières fixes provenant du broyage.

Tel est le système qui s'emploie encore aujourd'hui, et qui semble offrir quelques avantages dont cependant on ne doit pas s'exagérer l'importance.

Le temps gagné n'est pas celui *de la montée et de la descente des tiges ;* car cette manœuvre, si on ne la fait pas pour le curage, doit être faite pour visiter et réparer l'outil. Le temps gagné est, à proprement parler, *celui du curage*, c'est-à-dire que l'outil retiré, on le remplace par un outil de rechange qu'on peut descendre immédiatement.

Ce gain de temps se réduit donc en réalité à assez peu de chose ; toutefois, à cet avantage on peut ajouter celui d'un travail de l'outil moyennement plus efficace sur le fond du trou, qui est toujours à peu près décapé.

(**104**) Les détails ci-dessus (n$^{os}$ 81 et suivants) s'appliquent à l'exécution de grands sondages, pour recherches de mines et pour puits artésiens. Quant aux petits sondages mentionnés au n° 80, ils ne comportent ni la même variété dans l'outillage, ni la même importance dans l'installation. Ils ressemblent plus *à des trous de mine*, tels que le mineur les fait dans le travail de l'abattage à la poudre, qu'aux forages dont on vient de parler.

Les trous de sonde destinés à reconnaître le terrain, lorsqu'on soupçonne le voisinage de vieux travaux pleins d'eau et de mauvais air, se font sur un diamètre de quelques centimètres seulement, afin d'être d'autant plus faciles à boucher lorsqu'on a percé à ces vieux travaux. Ces trous sont exécutés dans le plan du gîte, en avant du front de taille et sur les côtés.

Les premiers sont dans l'axe du chantier, ou parallèles à cet axe, et se poursuivent, au fur et à mesure de l'avancement, de manière à le précéder, toujours d'un nombre donné de mètres, 2 ou 3 mètres au moins, et souvent jusqu'à 8 ou 10 mètres et plus, selon la solidité de la masse, la largeur du chantier et la charge d'eau supposée.

Digitized by Google

Les trous de sonde sur le côté sont poussés obliquement, et remplacés à mesure qu'on avance.

On s'assure ainsi que le front de taille et les parois du chantier sont convenablement protégés.

Il faudrait sonder également ou au toit, ou au mur, ou même dans les deux sens, si l'on s'avançait au milieu d'une couche puissante, sans connaître quelle partie de cette couche ont exploitée les anciens.

Ces petits sondages se font avec des burins et des curettes, analogues à ceux du mineur au rocher; mais on les emploie sans massette. Le tranchant du burin est en acier, les tiges sont assemblées à vis; elles sont rondes pour être plus faciles à manier.

Dans le cas ordinaire, on commence directement le trou de sonde au front de taille sans faire aucun préparatif particulier. Mais s'il s'agit d'aller trouver de vieux travaux, formant un lac étendu qu'on veut assécher à l'aide du trou de sonde, et si d'ailleurs la matière du gîte est friable et facile à déliter, on dispose contre le front de taille, et on engage même d'une certaine quantité dans la masse, en en garnissant très-exactement tout le pourtour, un tuyau de fonte ayant le diamètre du trou, muni d'une large bride au moyen de laquelle on le butte solidement, et d'un robinet qui laisse passer les tiges, et qui servira à régler l'écoulement à volonté, dès qu'on aura percé aux eaux.

Ces trous de sonde se font facilement à bras, sans appareil particulier, lorsqu'ils n'ont que 5 à 6 centimètres de diamètre et qu'ils sont faits de haut en bas. Ceux qu'on fait horizontalement, et surtout en montant, sont plus pénibles, à cause de la position, et parce que, ne pouvant être tenus pleins d'eau, ainsi qu'on le pratique pour les autres, les trépans s'empâtent, et leur tranchant s'émousse rapidement. On peut éviter ce dernier inconvénient, en lançant de temps à autre dans le trou, le jet d'une petite pompe foulante.

On imaginerait facilement des engins au moyen desquels on arriverait à contre-balancer le poids de l'outil; mais cela ne serait pas très-commode à installer dans un chantier où la place est limitée. On se borne à guider et à soutenir en partie la tige, quand cela semble nécessaire, par un galet fixé à hauteur convenable, et dont l'axe est porté par deux buttes entre lesquelles passe la tige.

Digitized by Google

La sonde employée à la surface pour explorer le terrain à petite profondeur, ne diffère pas de celle dont il vient d'être parlé. Elle se manœuvre à bras, tant qu'on n'a que quelques mètres à percer ; au delà d'une dizaine de mètres, si l'on avait une suite de sondages à faire, on trouverait avantage à s'outiller avec une chèvre à 3 montants et un chevalet portant un petit levier pour le battage.

Pour explorer un terrain tourbeux, le trépan est remplacé par une tarière d'un petit diamètre qu'on fait agir par rotation de la tige.

Pour les minerais de fer superficiels, qui existent en poches irrégulières dans les terrains calcaires de beaucoup de parties de la France : le Périgord, le Berry, la Champagne, la Franche-Comté, etc..., on recherche la position de ces poches, au moyen d'une sonde pointue qu'on enfonce dans le terrain sans curer le trou, les terres étant simplement refoulées. La pointe est surmontée d'un renflement, ou bourrelet, un peu plus gros que ceux qui sont formés par les assemblages des tiges.

Si l'on est arrivé au minerai, on en est averti par la couleur caractéristique du dépôt qui reste sur le bourrelet quand on retire l'instrument.

### § 5. — Données diverses relatives aux sondages.

(**105**) On a décrit dans les paragraphes précédents, avec détail, la forme et le mode d'emploi des divers instruments qui constituent l'outillage spécial au sondeur ; d'une manière plus sommaire, les divers engins avec lesquels cet outillage est mis en œuvre ; et enfin cette mise en œuvre elle-même.

Comme résumé et conclusion, nous présenterons le programme, suivant lequel il nous semble que pourrait être installé et exécuté un grand sondage de recherche, qui devrait être poussé à 500 mètres, 600 mètres et plus.

Une fois l'emplacement choisi, en ayant égard aux considérations du n° 101, on aurait à examiner et à résoudre les questions suivantes :

1° *Diamètre initial à donner au trou.* — Le point important est

Digitized by Google

de commencer sur un diamètre largement suffisant, et *d'autant plus grand* que l'on prévoira que les terrains à traverser seront *plus difficiles*.

On pourrait admettre $0^m,20$ pour des terrains faciles; au moins $0^m,30$ pour des terrains difficiles, dans lesquels on prévoirait qu'il faudra tuber, et même enfoncer plusieurs séries de tubes les unes dans les autres, parce que la grande hauteur à tuber ne pourra pas l'être avec une seule série, qui éprouverait trop de frottement de la part du terrain. On estime, d'une part, que chaque tubage fait perdre 4 à 5 centimètres sur le diamètre du trou, à cause de l'épaisseur du tube, du jeu qu'il doit avoir dans le tube précédent et du jeu des outils par lesquels il devra lui-même être traversé, et, d'autre part, que le bas du trou ne doit pas avoir moins de $0^m,10$.

(Les dimensions ci-dessus s'appliquent aux sondages pour recherche de mines. Pour les grands puits artésiens, on a été à $0^m,50$, 1 mètre et même à $1^m,80$ et 2 mètres.)

2° *Choix de l'engin de relevage.* — La hauteur est l'élément essentiel à considérer pour la brièveté des manœuvres. On la fera d'une quinzaine de mètres au moins. La construction la plus simple consistera en une chèvre à 3 montants convenablement entretoisés. On ajoutera à la hauteur utile de l'appareil, en plaçant le plancher de manœuvre, autant que possible, en contre-bas du sol.

Ainsi, par exemple, si le sondage était entrepris au fond d'un puits de mine, l'engin se placerait au jour; mais c'est au fond du puits qu'on installerait le plancher de manœuvre. On pourrait ainsi descendre et remonter les tiges, par portions ayant pour longueur la hauteur de l'engin, plus la profondeur du puits; ce qui donnerait une grande économie de temps.

3° *Choix du système des tiges.* — Peut-être n'y a-t-il pas de motifs de préférence bien décisifs entre les tiges en fer et les tiges en bois; du moins voit-on les unes et les autres en usage chez les plus habiles sondeurs : les premières semblent être d'un usage plus sûr et présenter plus de ressources en cas d'accident; les autres sont plus légères et peut-être par là d'un usage courant plus commode.

Quant à leur assemblage, il doit être à vis. C'est le seul mode qui permette, malgré la petite déformation que la fatigue donne à toutes

Digitized by Google

les pièces, de réunir les tiges, dans un ordre quelconque, d'une manière solide et sans aucun ballottement. C'est aussi celui qui permet le montage et le démontage le plus rapide.

L'emploi d'un joint à coulisse et d'un outil à chute libre, quel qu'en soit le système, *doit être réputé indispensable.*

Un parachute et des guides convenablement espacés doivent être regardés comme des dispositions très-utiles, pouvant prévenir ces accidents dont les suites seraient des plus fâcheuses et peut-être irrémédiables. Tel pourrait être, par exemple, le cas d'une grande longueur de tige qui viendrait à échapper aux ouvriers par quelque fausse manœuvre. En l'absence de parachute, cette tige tomberait au fond du trou avec une grande vitesse, et se fausserait, ou se briserait même en plusieurs morceaux, qui s'enchevêtreraient les uns dans les autres d'une manière plus ou moins compliquée.

4° *Composition de l'outillage.* — Le travail courant se fera avec un trépan simple, facile à réparer, et la cloche à soupape.

Comme outils accessoires, on aura une caracole et une cloche à écrou.

En prévision du besoin, on aura un certain nombre de tubes de retenue, d'un diamètre extérieur, inférieur de 2 centimètres au diamètre du trou. Ce petit jeu facilite l'entrée, mais n'empêche pas les frottements contre les parois du trou, qui se dégradent, ou poussent plus ou moins au vide avec le temps.

Ces tubes ne demandent, pour être enfoncés, qu'un mouton pour le battage, et un collier muni de leviers pour leur imprimer un mouvement de va-et-vient de rotation pendant ce battage.

Quant aux autres outils très-nombreux dont nous avons parlé, on les commandera selon les besoins.

5° *Choix de la force motrice.* — A moins de motif tout à fait particulier, comme serait, par exemple, un manque d'eau complet, la force motrice qui semble devoir obtenir la préférence est celle de la vapeur, toutes les fois qu'on aura à dépasser 250 à 300 mètres. Elle sera généralement économique, en réduisant beaucoup le personnel, qui n'aura pas besoin d'augmenter en nombre avec la profondeur du trou, et qui peut ainsi être composé d'un petit nombre d'hommes intelligents et exercés. C'est une

Digitized by Google

grande garantie contre les accidents qu'une maladresse peut amener.

La vapeur pourra être employée à toutes les manœuvres de force, sauf le rodage, c'est-à-dire à monter et à descendre le trépan, à faire le battage, et même, si l'on veut, à manœuvrer la cloche à soupape.

Le moteur à vapeur de la chèvre aura, aux dimensions près, la disposition générale qu'on donne aujourd'hui à une machine d'extraction. Il sera horizontal, à deux cylindres couplés, muni d'une coulisse de changement de marche, d'un volant léger et d'un frein puissant. Sa force pourra être de 8 à 10 chevaux, ou même 12 ou 15 pour un très-grand sondage.

Il commandera *par courroie* (pour diminuer les chances d'accident dans le cas d'un engagement subit des tiges) : d'une part, l'arbre portant le tambour ou les bobines du câble ou des câbles de relevage, et, d'autre part, l'arbre du tambour portant le câble de la cloche à soupape. Les deux courroies ne sont jamais embrayées à la fois.

L'emploi de deux câbles distincts pour les manœuvres des tiges abrége l'opération de la descente et du relevage des tiges, et permet ainsi d'augmenter d'autant la durée journalière du battage.

Le moteur pour le battage pourra être un appareil à vapeur distinct du précédent, mais alimenté par les mêmes générateurs. Il devra toujours être manœuvré à la main, afin d'être maître de varier à volonté la vitesse et l'amplitude du battage, selon les indications du chef de manœuvre qui est à la manivelle.

La machine sera disposée comme une machine d'épuisement, soit à traction directe, soit à balancier. La seconde disposition, quoique un peu plus complexe, semble cependant préférable, en ce qu'elle n'encombre pas la verticale passant par l'un des trous.

Le diamètre du cylindre à vapeur sera calculé de manière qu'avec la pression effective des chaudières, le piston puisse enlever très-facilement, et avec un excès notable de force, le poids maximum qu'on aura à manœuvrer dans les derniers temps du sondage. Jusque-là, on marche en étranglant suffisamment la prise de vapeur. Le moteur spécial du battage pourra être supprimé, en donnant ce travail à faire à la machine de relevage, suivant la disposition

Digitized by Google

qu'emploient le plus souvent MM. Degousé et Laurent, et dont nous avons signalé l'avantage au point de vue mécanique (voir n° 84).

(**106**) Avec une installation conforme aux indications générales ci-dessus, bien étudiée d'ailleurs dans ses détails, et confiée à un personnel intelligent et exercé, on peut penser qu'on exécutera un sondage dans des conditions aussi avantageuses que l'état actuel de l'art le comporte.

Malgré cela, le travail présente encore, par sa nature, assez d'éventualités pour qu'il soit bien difficile, au début, de savoir dans quelle dépense on s'engage, soit dépense de temps, soit dépense d'argent.

Il est donc difficile de trouver, pour un tel travail, des entrepreneurs sérieux qui le prennent à forfait, ou bien, s'ils s'y décident, comme ils doivent mettre naturellement les chances de gain de leur côté, ils n'acceptent qu'un prix supérieur probablement à ce qu'aurait coûté le travail fait à la journée, en admettant des difficultés imprévues d'une importance moyenne.

Le mieux paraît donc être de traiter avec ces entrepreneurs à des conditions qui ne les exposent pas à des pertes en quelque sorte illimitées, mais qui les intéressent à la bonne et prompte exécution du travail.

On pourrait convenir, par exemple, d'une première somme mensuelle déterminée, représentant la location du matériel fourni par l'entrepreneur ; d'une seconde somme représentant le *salaire du personnel spécial*, celui des manœuvres étant payé par la compagnie qui fait faire le travail, ainsi que les fournitures de charbon et autres dépenses accessoires ; ou bien d'une autre somme plus forte, qui représenterait à forfait l'intégralité des dépenses de toute nature supposées rester à la charge de l'entreprise.

On conviendrait, en même temps, des délais dans lesquels l'ouvrage devrait être poussé à des profondeurs données ; la compagnie restant d'ailleurs maîtresse de s'arrêter à la profondeur qu'elle voudrait. A la fin du travail, l'entrepreneur recevrait *une prime fixe* qui dépendrait de la profondeur atteinte, et *une prime variable* qui dé-

Digitized by Google

pendrait du nombre de jours qu'il aurait su gagner, sur le délai prévu au contrat pour cette profondeur.

Cette combinaison, ou quelque autre du même genre, semble sauvegarder équitablement les intérêts des deux parties, qui trouvent, l'une et l'autre, avantage à ce que le travail soit rapidement exécuté.

(**107**) Pour donner une idée des chiffres sur lesquels le débat pourrait s'établir entre les parties discutant les bases d'un traité, nous citerons quelques exemples d'avancements journaliers moyens obtenus en diverses circonstances :

(Ces avancements sont indiqués pour un travail continu de jour et de nuit ; ils devraient être réduits *d'un peu moins de moitié*, si l'on ne faisait qu'un poste de nuit.)

1° Terrains tertiaires et crétacés, assez difficiles à cause de la propriété ébouleuse de certaines couches. Forages poussés aux environs de 100 mètres. . . . . $1^m,05$

2° Terrains crétacés, avec peu de silex. Forages de 2 à 300 mètres. . . . . $1^m,33$

3° Terrains crétacés très-siliceux. Mêmes forages que ci-dessus. . . . . $0^m,85$

4° Terrains durs et siliceux, grès bigarré et grès des Vosges des départements de l'Est. Forage de 150 à 200 mètres. . . . $1^m,16$

5° Même terrain. Forage à 650 mètres. . . . . $0^m,86$

6° Terrain houiller facile. Sondages à diverses profondeurs assez faibles. . . . . $1^m,78$

Quant à la dépense correspondante d'argent, on pourrait la déduire des nombres ci-dessus, lorsqu'on sera convenu du prix de location du matériel, et qu'on aura apprécié, d'après les conditions locales, les dépenses journalières.

Les nombres ci-dessus sont chacun, sauf l'avant-dernier, *la moyenne* d'un assez grand nombre de sondages ; ils doivent donc être regardés comme exacts. Mais ils se rapportent à des travaux faits à diverses époques déjà plus ou moins éloignées, et avec des procédés divers.

Mon opinion est qu'aujourd'hui, en s'outillant comme il a été dit plus haut, avec les derniers perfectionnements acquis, on arriverait

Digitized by Google

à une exécution sensiblement plus prompte et beaucoup plus économique.

Je considère que dans des terrains plutôt tendres que durs, tels que le terrain crétacé avec sa proportion ordinaire de lits siliceux, on doit faire, pour des trous allant jusqu'à 200 et 300 mètres, $1^m,50$ par journée de vingt-quatre heures, ou *au moins* $0^m,80$ en ne travaillant qu'au poste de jour ; dans des terrains siliceux assez durs, mais en couches rapprochées de l'horizontale on pourra faire, pour des sondages allant jusqu'à 200 mètres, $1^m,30$ par journée de vingt-quatre heures, ou au moins $0^m,70$ avec un seul poste de jour, et pour des sondages très-profonds de 600 mètres et plus, 1 mètre dans le premier cas et $0^m,55$ dans le second.

A titre de simple indication, nous dirons que le forage à 650 mètres indiqué ci-dessus, forage dont l'exécution a été signalée par d'assez nombreux accidents qui en expliquent le faible avancement journalier, a coûté, toutes dépenses comprises, environ 200,000 francs, soit 300 francs, en nombre rond, par mètre courant.

La dépense de temps et d'argent indiquée ici n'est pas assurément la moitié de celle qu'aurait occasionnée le foncement d'un puits de même profondeur. L'écart sera habituellement plus que du simple au double entre ces deux genres de travaux, du moins tant qu'il ne s'agit que de forages pour recherches de mines, et non de forages à grand diamètre qui coûtent notablement plus cher que les autres, et pour le percement, et à cause des frais du tubage définitif.

Un grand sondage de $0^m,50$ à 1 mètre et jusqu'à $1^m,80$ pour recherche d'eaux jaillissantes, poussé à 500 mètres de profondeur, coûterait peut-être 4 à 500 francs par mètre et au delà.

Une série de petits sondages superficiels, à 10 ou 20 mètres de profondeur, ne coûteraient que quelques francs le mètre.

Il est inutile, et il serait d'ailleurs impossible, de chercher, entre des limites aussi éloignées, à établir une moyenne rationnelle, qui se trouverait évidemment inapplicable à un cas particulier donné.

(**108**) Nous terminerons ce chapitre, en complétant les indications données dans les n$^{os}$ 81 et suivants et auxquelles se rattachent

Digitized by Google

les figures de détail 48 à 98, par quelques exemples d'installations de sondage.

Ces exemples sont représentés sur les figures 99 à 104. Les deux premières concernent des installations simples, telles que les comporteraient des sondages à la tige peu importants (*fig.* 99), ou des sondages à la corde (*fig.* 100).

Les quatre figures suivantes se rapportent, au contraire, à des opérations très-importantes, et représentent des types créés par les trois maisons principales qui se sont livrées, depuis une trentaine d'années, aux entreprises de cette nature.

La figure 101 est l'installation créée par M. Kind pour le puits de Passy ; la figure 102, celle du puits du boulevard de la Gare, foré par M. Dru, pour aller chercher la même nappe aquifère que les puits de Grenelle et de Passy, entre 550 et 600 mètres de profondeur.

Les figures 103 et 104 se rapportent aux puits de la Butte-aux-Cailles et de la Chapelle, établis, le premier par M. Dru, et le second par MM. Degousée et Laurent, pour aller chercher une nappe aquifère inférieure à la précédente, supposée exister dans le terrain jurassique à une profondeur d'environ 900 mètres. Cette décision prise par la Ville de Paris, d'aller chercher une nappe aquifère inférieure à celle des grès verts qui alimentent les puits de Grenelle et de Passy, se motive, avons-nous dit, par la convenance de ne pas diminuer le débit de ceux-ci, qui s'influencent déjà, malgré la distance de plusieurs kilomètres qui les sépare.

Si les installations représentées figures 99 et 100 doivent être regardées comme insuffisantes pour un sondage de quelque importance, les 4 autres, au contraire, et surtout les deux dernières, doivent être considérées, sous la réserve de quelques observations qu'on pourrait faire sur la partie mécanique, comme présentant, au point de vue spécial du sondage, les derniers progrès de l'art, sur une échelle dépassant ce qui pourrait être nécessaire, même dans un très-grand sondage pour recherche de mines.

On a donc ainsi *des limites* entre lesquelles on devrait généralement se tenir dans le cas où l'on aurait, comme ingénieur, à dresser le programme et à étudier les principaux détails d'installation, pour un travail de ce genre.



Digitized by Google

# CHAPITRE V

## DES TRAVAUX D'ABATTAGE

### § 1. — Observations préliminaires.

(**109**) Nous avons vu, dans les chapitres précédents, comment se sont formés les gîtes de substances minérales utiles que l'on rencontre dans le sein de la terre, et sous quelle extrême variété d'allures ils se présentent ; par quels travaux d'exploration leur existence matérielle *peut d'abord être constatée ;* de quels travaux de recherche, ou de reconnaissance, *ils doivent ensuite être l'objet*, avant que la question de leur mise en exploitation définitive *puisse être posée;* enfin quels éléments nombreux et délicats comporte l'étude de cette question, tant au point de vue technique qu'aux points de vue soit commercial soit financier.

La supposant résolue dans un sens affirmatif, nous avons un gîte dont nous connaissons plus ou moins nettement l'allure générale, et c'est ce gîte que nous nous proposons d'exploiter.

Qu'il s'agisse des travaux (tels que puits ou galeries) au moyen desquels on ira l'attaquer, ou des travaux mêmes de l'exploitation dont il sera ensuite l'objet, on a toujours à faire des excavations, soit dans la roche encaissante, soit dans le gîte. Ces excavations sont l'œuvre de l'*ouvrier mineur* proprement dit. Elles s'exécutent par des procédés et au moyen d'outils spéciaux, dont la mise en œuvre constitue ce qu'on appelle le travail de l'*abattage*, qui doit actuellement nous occuper.

Digitized by Google

(**110**) Au point de vue de la difficulté de l'entaillement, suivant une classification depuis longtemps indiquée, puisqu'elle remonte à Werner, on peut diviser les roches de la manière suivante :

Les roches ébouleuses ;

Les roches tendres ;

Les roches demi-dures, ou *traitables ;*

Les roches dures, ou *tenaces* ;

Les roches très-dures, ou *récalcitrantes ;*

Et enfin les roches solubles.

Dans l'ordre d'idées où se plaçait Werner, à chacune de ces catégories correspond l'emploi d'un outil, ou d'un procédé d'entaillement, qui lui est particulièrement approprié.

Ainsi, aux roches ébouleuses correspondrait le travail à *la pioche*, et aux roches tendres le travail au *pic;* les roches demi-dures se traiteraient à la *pointerolle*, et les roches dures à *la poudre;* les roches récalcitrantes s'entailleraient *à l'aide du feu*, et les roches solubles *à l'aide de l'eau.*

Cette classification est aujourd'hui assez surannée. On n'emploie plus guère, en travail courant, et on emploiera de moins en moins le travail à la pointerolle et l'entaillement à l'aide du feu. Abstraction faite du travail par l'eau, qui n'est qu'un cas tout particulier, on peut croire que le travail à la poudre est appelé à empiéter de plus en plus sur le domaine des autres procédés, à mesure que, le prix de la main-d'œuvre s'élevant, on trouvera plus d'intérêt à économiser la force de l'homme. C'est ainsi qu'en Angleterre un avancement donné, dans une certaine roche, se fait avec *un moindre nombre de journées* et une *plus grande dépense de poudre* qu'en Allemagne.

Quoi qu'il en soit, pour donner une idée de la difficulté relative que présentent les diverses roches dans lesquelles le mineur peut avoir à faire ses travaux d'abattage, nous reproduisons ici l'énumération donnée, d'après Werner, dans l'ouvrage classique de Héron de Villefosse sur la richesse minérale.

Dans la classe des roches ébouleuses, l'auteur range « la terre végétale, les sables, certains dépôts terreux et plusieurs alluvions. »

Dans la classe des substances tendres, « les sables fortement agglutinés, la plupart des alluvions, l'argile durcie, les dépôts cariés

Digitized by Google

qui sont ordinairement pénétrés d'argile et d'oxyde de fer rubigineux, les roches très-décomposées de granite et de gneiss, quelques gypses, presque toutes les sortes de houille, le sel gemme, quelques minerais à gangue de spath pesant, le cinabre, l'argent rouge, et en général tous les minerais à gangue pulvérulente. »

Il classe dans les roches demi-dures, ou traitables : « certaines roches calcaires, le schiste cuivreux, le schiste alumineux, la serpentine, les marnes, les gypses, les grès, toutes les roches qui sont fortement imprégnées d'argile et de fer oxydé rubigineux, celles qui présentent de grandes parties de mica ou de courtes fissures, tous les granites, gneiss, porphyres et schistes micacés qui ont déjà subi une décomposition assez avancée, toutes les substances dites spathiques, excepté le feldspath, qui est tenace, et le spath pesant, qui est tendre ; enfin la plupart des minerais métalliques, tels que le plomb sulfuré, le zinc sulfuré, le cuivre pyriteux et le fer spathique. »

Il classe dans les roches dures ou tenaces, attaquées au fleuret et détachées à l'aide de la poudre : « la plupart des granites, gneiss, schistes micacés, porphyres, schistes argileux, grauwackes, basaltes et roches calcaires, quartz tapissé de cristaux ou mélangé d'argile, presque toutes les roches amphiboliques, presque tous les minerais de fer oxydulé ou de fer oxydé rouge, le fer pyriteux, le fer arsenical, les minerais de cobalt, tous les minerais très-mélangés de quartz. »

Enfin, parmi les roches très-dures ou récalcitrantes, que le feu détache en partie en facilitant le reste de l'opération, il compte : « le quartz pur, les roches très-quartzeuses de granite, de gneiss, de schiste micacé, le porphyre à base de pétro-silex, le schiste porphyrique, le grenat compacte, les grès très-quartzeux, quelques poudingues, quelques minerais qui sont un mélange intime de fer, de zinc, de soufre, d'arsenic et de quartz ; enfin, les minerais d'étain disséminés dans une roche très-tenace. »

Bien que cette énumération ne soit pas très-satisfaisante, en ce que, d'un côté, elle contient des substances inutiles à considérer, telles que l'argent rouge, par exemple, qui ne forme jamais des masses assez importantes pour qu'il y ait lieu de s'en préoccuper

Digitized by Google

au point de vue de l'abattage, tandis que, de l'autre côté, elle pèche par omission, en ne mentionnant pas, par exemple, explicitement les roches du terrain houiller, on peut retenir cette classification en cinq degrés de dureté, que nous désignerons sous les n$^{os}$ 1 à 5, en passant des roches les plus dures aux roches les plus tendres.

(**111**) Appliquant cette classification, nous dirons d'une manière générale :

En premier lieu, *pour les filons*, que, le plus habituellement, les travaux à travers bancs que l'on a à exécuter dans les terrains anciens, tels que ceux où se trouvent la plupart des districts métallifères de l'Europe, rencontreront des roches dont la dureté peut être caractérisée par le nombre 2, la dureté du 1$^{er}$ ordre n'étant qu'une exception assez rare ; que les filons eux-mêmes pourront être du 2$^{me}$ ordre, passant au premier lorsqu'ils auront une gangue essentiellement quartzeuse et à structure saccharoïde, dans laquelle les minerais seront intimement disséminés ; qu'ils passeront, au contraire, au 3$^{me}$ ordre, lorsqu'ils seront à gangue barytique, et que les minerais y seront concentrés en masses notables.

En second lieu, *pour le terrain houiller*, que la dureté des roches à recouper dans les travaux à travers bancs sera habituellement du 2$^{me}$ ou 3$^{me}$ ordre, avec cette différence que, dans les bassins du centre et du sud de la France, le 2$^{me}$ ordre est proportionnellement beaucoup plus répandu que dans les grands bassins du Nord, et qu'on y trouve même accidentellement des roches de 1$^{er}$ ordre, formées de grès ou de poudingues très-quartzeux et très-fortement agglutinés ;

Que la houille, malgré de certaines différences de compacité entraînant de très-grands écarts dans la proportion de *gros* obtenu à l'abattage, et par suite dans la valeur marchande du produit, reste toujours une substance du 4$^{me}$ ordre.

En troisième lieu, enfin, *pour les gîtes en amas*, qu'on peut, suivant les cas, rencontrer toute espèce de degrés de dureté, depuis le 1$^{er}$ ordre, qui caractériserait certains stockwerks, ou des amas quartzeux avec minerais finement disséminés, tels que ceux du

Digitized by Google

Rammelsberg au Hartz, jusqu'au 5me ordre, que présenteraient, par exemple, beaucoup d'alluvions.

§ 2. — Description des procédés.

(**112**) L'abattage des roches ébouleuses se fait à la pioche et à la pelle, et constitue, à proprement parler, un travail de terrassier.

La pioche sert à désagréger le terrain en petites parties, à l'*égrener*, en quelque sorte, de manière à en rendre facile le chargement à la pelle. On chargera d'ailleurs à la main les gros blocs, tels que les gros galets, ou les parties agglutinées qui ne céderaient pas au travail de la pioche.

Le fer de la pioche peut n'avoir qu'une seule branche, terminée soit *en pointe*, soit en *biseau* perpendiculaire au manche, selon la nature *arénacée* ou *argileuse* de la masse à abattre, et porter du côté opposé une tête carrée, plus ou moins grosse, pouvant servir au besoin de masse.

Ce fer peut aussi avoir deux branches, dont l'une est terminée en pointe et l'autre en biseau. Ces deux parties doivent avoir leur centre de gravité commun sur l'axe du manche, afin de faciliter l'emploi de l'outil dans un plan non vertical, sans que le manche tende à tourner dans la main de l'ouvrier. Ce manche, pour un travail à ciel ouvert où l'ouvrier peut développer ses mouvements, peut avoir 1 mètre à 1m,10 de longueur. Il est habituellement en bois de frêne fendu dans le sens des fibres. Il convient, pour qu'il soit bien en main, de lui donner une section elliptique de 0m,04 sur 0m, 05, et de le terminer par une partie très-légèrement renflée en forme de crosse. Pour la solidité de l'assemblage, l'œil qui sert à fixer le manche doit être légèrement conique, la petite base étant du côté de l'entrée. Un clou chassé dans le bois en écarte les fibres et empêche le manche de sortir. Les deux branches du fer doivent ne pas être en ligne droite, mais former un arc de cercle ayant à peu près son centre vers l'articulation de l'épaule de l'ouvrier, afin que la pointe frappe bien normalement sur le terrain. L'outil doit être aciéré à son tranchant et à sa pointe, ou même entièrement en acier.

Digitized by Google

Les figures 105 font ressortir les principaux détails ci-dessus.

L'outil, pour enlever les déblais formés par la pioche, est la pelle, ou escoupe, dont le fer peut avoir $0^m,25$ à $0^m,30$, sur $0^m,30$ à $0^m,40$ de côté environ.

Pour faciliter son entrée dans la masse des déblais, la lame mince qui forme le fer de l'outil a une section trapézoïdale dont le bord tranchant est le plus petit côté ; souvent aussi les deux côtés se réunissent suivant une courbe, ou forment eux-mêmes deux lignes courbes qui se réunissent sous un angle plus ou moins aigu (*fig.* 106). La lame porte sur le revers une nervure saillante, qui va en mourant du côté du tranchant, et qui s'épanouit du côté opposé, pour former la douille servant à fixer le manche.

Ce manche a $1^m,30$ de longueur et doit être incliné à peu près à 45° lorsque la lame est horizontale, ou, ce qui revient au même, doit faire un angle d'environ 135° avec la lame. Cette disposition convient pour un travail à ciel ouvert. Dans un chantier bas, où l'homme ne pourrait se tenir droit, cet angle de 135° devrait être augmenté, et d'autant plus que le chantier serait plus bas. Le manche se ferait en même temps plus court. Beaucoup de fers de pelle se font maintenant en acier fondu doux, ce qui permet de les faire un peu plus légères, tout en leur assurant une plus longue durée.

Tous ces détails, qui peuvent paraître minutieux, ont leur importance, en ce qu'ils contribuent, chacun pour leur petite part, à augmenter l'effet utile des ouvriers. Nous dirons ici, à cette occasion, d'une manière générale, que pour un travail, quel qu'il soit, l'outil qu'on met entre les mains des ouvriers doit être toujours étudié avec soin, dans sa forme, dans ses dimensions, dans la grandeur et la répartition de son poids, etc., et toujours entretenu en bon état.

Je crois devoir insister sur cette remarque, parce qu'on n'y a pas toujours assez égard en France, où l'on est trop souvent disposé à penser et à dire que *pour un bon ouvrier il n'y a pas de mauvais outils*, en ce sens qu'un ouvrier habile vient à bout de son travail, même lorsqu'il n'est que médiocrement outillé. On suit d'autres errements dans d'autres pays, en Angleterre notamment, où l'on trouve, au contraire, qu'*un bon ouvrier n'a jamais de trop bons outils*, et c'est là certainement une des causes qui amènent ce résultat incontes-

Digitized by Google

table que dans un grand nombre d'industries, toutes les circonstances étant égales, l'ouvrier anglais produit un effet utile supérieur à celui qu'on obtient dans la plupart des autres pays.

(**113**) A l'outillage composé de pelles et de pioches, on ajoute, lorsqu'il s'agit de travaux de déblai à faire sur une hauteur notable, des espèces de gros coins formés de rondins de bois, ferrés par le bas, ou au gros bout, et frettés à la tête, d'un diamètre moyen de $0^m,10$ à $0^m,12$ et plus, et d'une longueur comprise entre $0^m,50$ et $1^m$ à $1^m,20$ (*fig.* 107).

Ces pieux sont plantés en lignes parallèlement au front de taille, qui présente alors une suite de gradins, et sont enfoncés à coups de masse, de manière à déterminer la chute d'un prisme ayant pour longueur la largeur de la taille, et pour côtés de la base la hauteur du gradin et la distance de la ligne des piquets au bord de ce gradin.

La dimension de ces prismes doit être déterminée par la condition qu'en s'éboulant ils se subdivisent en parties assez ténues pour que le débit ultérieur à la pioche s'en trouve notablement facilité.

Un chantier, pour un travail de déblai profond à faire dans une roche ébouleuse, présentera donc un front rectiligne ayant la largeur du déblai, et terminé, à droite et à gauche, par des talus appropriés à la nature plus ou moins ébouleuse du terrain. Sur le flanc de ces talus seront ménagés, au moyen de retraites, les chemins nécessaires pour l'enlèvement des déblais. La hauteur totale de l'ouvrage sera divisée en une série de gradins droits, figurant comme les marches d'un grand escalier, qui auraient chacune 1 mètre, $1^m,30$ et jusqu'à 2 mètres et plus de hauteur (*fig.* 108).

Chacun de ces gradins, en retraite sur le précédent de la quantité suffisante pour que les ouvriers ne se gênent pas, soit d'une largeur au moins double de la hauteur, est avancé par un travail de *sous-chevage* fait au pied du gradin, à l'aide de la pioche, complété par l'enfoncement des piquets de mètre en mètre, ou de 2 en 2 mètres, à une distance de 1 mètre à $1^m,50$ et plus de la crête. Le travail de sous-chevage doit être fait avec précaution et par des ouvriers ha-

Digitized by Google

biles et prudents, qui évitent de se laisser prendre sous l'éboulement prématuré du prisme qu'ils veulent détacher. En principe, ils ne doivent pas pousser leur travail de sous-chevage jusqu'au point où la chute du prisme se produirait ; ils ne doivent que la préparer, et elle s'achève par l'enfoncement des piquets, opération pendant laquelle les ouvriers non employés à cette opération doivent se retirer en arrière du front de taille.

(**114**). L'abattage des roches de la seconde classe se fait au pic.

Le pic ordinaire a la forme générale d'une pioche ; il en diffère cependant par les dimensions et aussi par le mode d'emploi.

Au lieu de travailler en pleine masse comme avec la pioche, dans le double but de pratiquer l'excavation qu'on a en vue, et de subdiviser la roche en parties propres à être chargées immédiatement à la pelle, on emploie le pic, sur une matière plus dure et moins facile à désagréger, simplement pour y faire des rainures, ou entailles, aussi profondes et aussi étroites que possible ; de manière à réduire la quantité de matière à égrener sous le travail du pic et à obtenir des masses dégagées sur plusieurs faces dont il est ensuite facile d'obtenir la *tombée*, soit en les laissant *travailler*, soit en hâtant la chute au moyen de coins ou de coups de mine.

L'abattage à un chantier commencera donc, en général, par l'exécution d'une *sous-cave*, entaille que l'on fera soit à la sole de la galerie, si la roche est uniformément solide, soit dans la partie la moins dure qui se prêtera particulièrement à ce travail ; ce sera, par exemple, dans une couche de houille, un petit banc de houille friable, ou un lit d'argile schisteuse tendre.

Ce travail de la *sous-cave* est de même nature que le travail du *sous-chevage*, mentionné au numéro précédent, mais il se fait d'une manière plus nette et plus accusée. On lui donnera une hauteur de $0^m,20$ à $0^m,25$ au plus, quelquefois seulement de quelques centimètres, et une profondeur qui ne sera pas, en général, inférieure à $0^m,50$, qui sera le plus souvent de $0^m,80$ à $0^m,90$, et pourra s'élever à 1 mètre et même parfois jusqu'à $1^m,30$ et $1^m,50$.

Après la sous-cave, on pratiquera, à droite et à gauche du chan-

Digitized by Google

tier, ce qu'on appelle l'entaille, ou la rouillure, qui, en principe, devra être étroite et avoir la profondeur de la sous-cave.

Avec la sous-cave et les deux entailles, un bloc de matière à abattre se trouve n'avoir plus que deux faces adhérentes, la face supérieure ou inférieure, selon que la sous-cave est faite en dessous ou en dessus de ce bloc, et la face postérieure.

Il tombe de lui-même, après qu'on a enlevé les tasseaux, ou buttes, par lesquels on l'a soutenu provisoirement pendant le travail au pic.

S'il ne tombe pas de lui-même, on en détermine la chute, soit à l'aide de petits coups de mine, exécutés comme on le dira ci-après, soit à l'aide d'une série de coins, que l'on chasse à coups de masse, dans le plan suivant lequel on veut amener la rupture.

On fait ainsi tomber tout le prisme, soit en une seule fois sur toute sa hauteur, soit en plusieurs fois, s'il y a des joints de facile division, ou si ces chutes successives importent à la facilité et à l'efficacité du triage.

Le bloc, en tombant, se brise généralement en plusieurs morceaux, que l'on débite au pic, dans la mesure strictement nécessaire pour pouvoir être chargés à la main, tandis que le menu provenant de ce débit est chargé à la pelle. On opère ainsi pour épargner le travail d'une plus grande subdivision, qui serait non-seulement *inutile*, mais encore *désavantageuse*, la matière en gros morceaux ayant ordinairement plus de valeur qu'à l'état de menu.

Les pics reçoivent diverses formes qui sont représentées figure 109.

Le pic ordinaire est un fer qui a une largeur de $0^m,25$ à $0^m,35$, terminé d'un côté par une pointe carrée aciérée, d'autant plus *obtuse* que la roche est *moins tendre*, et de l'autre par un œil elliptique ou trapézoïdal, qui sert à passer le manche. Le fer est carré de 25 millimètres de côté, ou, ce qui vaut mieux, rectangulaire de 27 à 30 millimètres de hauteur sur 15 à 20 millimètres d'épaisseur. Son poids est habituellement compris entre $0^k,75$ et 2 kilos, ou même $2^k,50$. Il est emmanché à un manche de $0^m,60$ à $0^m,70$ dans les chantiers bas, de $0^m,80$ à 1 mètre dans les chantiers où les hommes peuvent travailler à l'aise et à grands coups.

L'œil elliptique ou trapézoïdal forme habituellement un renflement symétrique par rapport à un plan passant par l'axe du man-

Digitized by Google

che et du fer. D'autres fois ce renflement est reporté tout entier sur le côté. Cela peut se pratiquer, lorsque la sous-cave se faisant tout à fait à la sole du chantier, on veut manœuvrer l'outil le plus bas possible, en le laissant glisser en contact avec le mur.

Les pics ci-dessus sont l'outil principal des mineurs qui travaillent à l'abattage dans une couche de houille. Ils comportent quelques variantes.

Ainsi on nomme *pic à rocher* un outil différent des pics ordinaires par les dimensions du fer. Il aura, par exemple, $0^m,35$ à $0^m,40$ de long, 35 millimètres de hauteur sur 20 à 25 d'épaisseur, et une tête carrée du côté opposé à la pointe. Il pourra peser 3 ou 4 kil. et au delà. Il sera employé pour abattre les gros nerfs durs qui peuvent être intercalés dans une couche de houille, ou, s'il s'agit d'un travail au rocher, pour faire tomber et pour dépecer les rochers déjà fissurés et ébranlés par le coup de mine. Il agit, suivant les cas et successivement, comme le pic ordinaire, ou bien comme un levier, en engageant la pointe dans une fissure et agissant à l'aide du manche qui doit être alors renforcé à l'emmanchement, ou bien enfin comme une masse, en frappant avec la tête. Souvent la tête acquiert un développement assez grand pour que le manche passe par le centre de gravité du fer. Il peut ainsi être facilement manœuvré dans un plan quelconque. Il sert alors pour entailler les salbandes et faire dans un filon le travail préparatoire *du dépouillement* de ce filon. On le désigne, en allemand, sous le nom de schrämhammer.

Le pic à *deux pointes*, ou *pic anglais*, diffère du pic ordinaire, en ce que le manche est au milieu du fer, et non à une extrémité. L'outil tient en main sans avoir besoin d'être serré ; il est équivalent, pour le travail, à deux pics ordinaires ; il demande un peu plus d'adresse que ceux-ci, lorsque l'outil doit s'engager dans une entaille profonde et étroite.

La *rivelaine* est un pic à une pointe ou à deux pointes, formé d'un fer plat de 2 centimètres au plus d'épaisseur, soudé à un manche en fer de même épaisseur terminé soit par une poignée en fer rond, soit par une douille qui sert à le prolonger par un manche en bois. La longueur totale des deux manches réunis va jusqu'à $1^m,80$.

Cet instrument sert à faire les sous-caves dans les lits argileux

Digitized by Google

souvent très-minces, de 2 à 3 centimètres, qui se présentent fréquemment au mur d'une couche de houille.

La rivelaine sert, en agissant par une sorte de grattage à petits coups, plutôt que par la percussion, à faire une mince sous-cave dans laquelle ne pénétrerait pas le renflement que forme l'emmanchement ordinaire d'un pic.

Ces lits minces et tendres qui existent au mur d'une couche ou dans la couche même, se nomment un *havrit;* le travail de sous-cave dans un lit de ce genre se nomme un *havage.* La présence d'un havrit facilite et abrége beaucoup le travail de l'abattage, et l'on doit distinguer, sous ce point de vue, les couches qui ont du *havrit* de celles qui n'en ont pas, c'est-à-dire de celles dont le charbon conserve sa dureté jusqu'à son mur même, avec lequel il est plus ou moins fortement soudé.

Le pic, quel qu'il soit, se termine habituellement en pointe, pour attaquer le rocher qui s'égrène et saute en petits éclats sous les chocs de cette pointe. Un ouvrier habile fait d'abord, pour exécuter une entaille, deux petites rainures très-rapprochées l'une de l'autre, en promenant la pointe de son pic suivant deux lignes verticales; puis il fait sauter le petit prisme qui subsiste entre ces deux rainures, en la promenant sur une ligne verticale comprise entre les deux premières.

Si la roche, au lieu d'être cassante et fragile, présente une consistance pâteuse, la pointe peut être remplacée par un petit biseau disposé, comme celui d'une pioche, perpendiculairement au manche. C'est ce qui se fait pour les rivelaines, quand le havrit est tendre et nettement argileux.

Si la roche a une certaine ténacité, analogue à celle que pourraient présenter des lignites ayant conservé partiellement la texture fibreuse du bois, le pic pourrait très-convenablement présenter un petit biseau parallèle au manche, comme celui d'une hache.

Les coins (*fig.* 110) employés pour produire la tombée sont ou des coins pointus, ayant 4 centimètres de côté à la tête, ou des coins plats terminés en biseau, ayant 3 centimètres sur 6. Ils ont de $0^{m},20$ à $0^{m},50$ et plus de longueur. Les plus longs reçoivent le nom d'aiguilles. On fait leur emplacement avec quelques coups de pic, on les place à la

Digitized by Google

main, et on les enfonce à grands coups de masse, dans le plan de joint suivant lequel on veut opérer la disjonction. La masse est un prisme en fer, de 5 à 6 centimètres de côté et de 18 à 20 centimètres de longueur, muni d'un manche de 50 à 60 centimètres et plus. Il pèse de 3 à 5 kilogrammes; quelquefois le poids va jusqu'à 10 kilogrammes, le manche a alors $0^m,90$ à 1 mètre, et la masse se manœuvre à deux mains. Il faut quelquefois mettre deux coins l'un au-dessus de l'autre, quand la roche fléchit sensiblement, avant de rompre.

Les coins sont quelquefois remplacés par deux fers demi-ronds (*fig.* 111) placés l'un contre l'autre par leur face plane, remplissant avec un certain jeu le vide d'un trou de mine,

On place entre eux un coin très-plat, ayant une longueur un peu moindre que le diamètre du trou. On dispose les trois pièces ensemble dans le trou, de manière que les surfaces de contact soient parallèles au plan de la fissure que l'on veut produire. Ensuite on frappe à grands coups de masse, pour enfoncer le coin entre les deux autres pièces qui fonctionnent comme des calles.

On produit ainsi des efforts extrêmement énergiques, très-efficaces avec des roches qui cassent sans plier sensiblement.

Cet outil remplace, à Liége, le tirage à la poudre, dans les points où la présence possible du grisou ne permet pas d'employer les coups de mine.

(**115**). Le travail de l'abattage à la pointerolle est, pour ainsi parler, une sorte de travail de ciselure, qui se fait sur des roches dont la dureté est telle, que le travail à la pioche y serait absolument sans effet, et que le travail même du pic y serait fort peu efficace, à cause du défaut de précision des coups successifs de l'instrument. La dureté de la roche est telle que, pour en détacher un morceau, il faut une série de coups frappant successivement et avec force en des points parfaitement déterminés. L'ouvrier doit avoir un assortiment de pointerolles ayant de 75 à 300 millimètres de longueur. Ce sont des espèces de ciseaux, aciérés ou entièrement en acier, ayant 20 à 25 millimètres de côté, terminés d'un côté par une tête carrée et de l'autre par une pointe plus ou moins aiguë (*fig.* 112).

Digitized by Google

Ils sont tenus de la main gauche par l'ouvrier, soit directement, soit au moyen d'un petit manche en bois de $0^m,25$, passé dans un œil ménagé au milieu de leur longueur. Dans ce dernier cas, ils constituent la véritable *pointerolle*. Quand ils sont tenus directement à la main, comme un ciseau de menuisier, on leur donne le nom de *pointes*.

La pointerolle permet, plus commodément que la pointe, de placer l'outil au point et dans la direction voulue. On frappe dessus, de la main droite, avec une massette de 1 kil. 1/2 à 3 kilogrammes fixée à un manche de $0^m,35$ de longueur.

L'ouvrier travaille en faisant une première entaille dont la profondeur dépend de la dureté de la roche ; puis il élargit successivement cette entaille en faisant sauter des éclats sur ses deux bords. Quand on a ainsi promené la pointe de l'outil sur tous les points du front de taille, celui-ci se trouve avancé d'une quantité égale à la profondeur suivant laquelle la dureté de la roche permet de faire la première entaille.

On comprend la lenteur d'un pareil procédé d'entaillement, qui oblige d'émietter, en quelque sorte, toute la roche qui correspond à l'excavation que l'on veut pratiquer. Tel était cependant, avant l'application de la poudre, le seul moyen d'abattage qui fût à la disposition des mineurs. Le travail devenait excessivement lent avec des roches très-dures. C'est ainsi qu'on voit, dans de vieilles galeries d'écoulement où l'on a marqué sur les parois l'avancement fait à diverses époques, qu'on n'avançait en terrain très-dur que d'un petit nombre de mètres ($20^m$ à $25^m$, par exemple) en un an.

Le travail à la pointerolle est abandonné comme procédé usuel d'avancement; il ne sert plus que comme accessoire, pour achever de détacher des roches fissurées par des coups de mine, pour donner à une excavation des dimensions et des formes exactement déterminées, comme s'il s'agit de loger les pièces de fondation d'une machine, ou bien lorsqu'une excavation doit être faite sans ébranler par des coups de mine les fondations d'une machine établie, etc., etc. On peut considérer que, comme travail courant d'abattage, il est remplacé, soit, pour les roches les plus tendres, par le travail du pic dont nous venons de parler, soit, pour les plus

Digitized by Google

dures, par le travail à la poudre que nous allons décrire, soit souvent aussi par une combinaison, dans la mesure qui paraît le plus appropriée au terrain, de l'emploi du pic et de l'emploi de la poudre.

(**116**) Ce dernier mode de travail peut être considéré comme ayant été le principal perfectionnement qu'ait reçu l'art des mines depuis bien des siècles. On peut affirmer que, sans son secours, nombre de mines métalliques auraient dû être abandonnées depuis longtemps, la valeur de la main-d'œuvre n'ayant cessé d'aller en croissant relativement à celle des métaux. La plus grande production obtenue par journée d'homme à l'aide de la poudre a pu, jusqu'à un certain point, compenser le prix plus élevé de la journée.

L'économie que produit le tirage à la poudre est ordinairement considérable, ainsi que le montre l'expérience, et elle l'est d'autant plus que la roche est plus dure.

Nous ne voulons pas dire par là qu'en principe et d'une manière générale, le travail moteur obtenu par la combustion de la poudre doive être regardé comme plus économique que le travail produit par la force de l'homme. Le rapport varierait évidemment selon le mode d'emploi de ces deux forces, et la détermination numérique n'en serait pas facile.

On remarquera toutefois que, dans un coup de mine, le travail de la pondre se réalise dans des conditions très-mauvaises, mécaniquement parlant. D'abord, on a parfois des effets de projection qui correspondent à des dépenses inutiles de force vive; car, ce qu'on cherche, c'est de *disjoindre la roche*, et non d'*en projeter les fragments*.

En second lieu, la chaleur énorme qui se développe au moment de l'explosion, et qui se perd rapidement en se propageant dans les autres corps, correspond à une force vive interne, ou force vive vibratoire, qui n'est pas plus utile que la force vive externe employée à la projection des fragments.

Enfin la détente des gaz est fort mal utilisée, puisque l'effet de rupture est produit, dès que, perpendiculairement à une surface donnée, les molécules ont commencé à s'écarter d'une quantité finie;

Digitized by Google

même très-petite, et par conséquent sans qu'il y ait eu augmentation appréciable du volume des gaz.

Mais, en compensation, l'énorme pression initiale qui résulte de la combustion surmonte immédiatement, et en une fois, des résistances moléculaires devant lesquelles la force de l'homme ne serait efficace qu'à la condition de les subdiviser beaucoup.

En d'autres termes, la poudre donne de gros blocs, tandis que la pointerolle subdivise la masse en un beaucoup plus grand nombre de parties beaucoup plus petites ; la poudre est donc économique, relativement à l'emploi de la pointerolle, non pas tant *parce que le kilogrammètre serait produit par elle à meilleur marché*, que parce qu'*il lui faut dépenser beaucoup moins de kilogrammètres* pour produire un mètre cube de vide.

On voit facilement ce que donnerait la considération ci-dessus, si l'on supposait, par simple aperçu, que, dans les deux cas d'emploi de la poudre et de la pointerolle, les morceaux obtenus fussent semblables. Supposant $m$ morceaux égaux obtenus à la poudre, et $m'$ obtenus avec la pointerolle, pour un volume donné de vide produit, désignant par A et par $a$ les côtés homologues de ces morceaux, on aura d'abord, puisque le volume est le même,

$$mA^3 = m'a^3.$$

Les quantités de travail développées seraient respectivement proportionnelles à $mA^2$ et $m'a^2$, et leur rapport serait

$$\frac{mA^2}{m'a^2} = \frac{a}{A} = \sqrt[3]{\frac{m'}{m}}.$$

Ainsi le travail de la poudre serait au travail de la pointerolle dans le rapport inverse des dimensions homologues des morceaux, ou, ce qui est la même chose, dans le rapport direct des racines cubiques du nombre de ces morceaux.

(**117**) Pour le *mineur au rocher*, c'est-à-dire le mineur travaillant à la poudre (ainsi nommé, dans les houillères, pour le distinguer du mineur qui travaille le charbon, et qu'on nomme *ouvrier à la*

Digitized by Google

*veine* ou *piqueur*), l'outillage ordinaire et courant comprend un assortiment de fleurets, ou burins, de diverses longueurs, une massette, une curette, une épinglette et un bourroir (*fig.* 113).

Les fleurets sont des barres de fer aciérées à l'extrémité, ou des barres d'acier, de forme ronde pour être faciles à manier, présentant un tranchant légèrement élargi à leur extrémité. Leur grosseur est ordinairement comprise entre $0^m,025$ et $0^m,050$. L'ouvrier les tient de la main gauche, le tranchant appliqué contre le fond du trou, et frappe sur leur tête à l'aide de la massette, en les tournant après chaque coup d'une petite quantité, pour faire le trou rond.

La massette est du poids de 2 à 3 kilogrammes; elle est fixée à un manche de $0^m,30$ à $0^m,35$ de longueur.

La curette est une tige en fer, portant, d'un côté, une petite palette ronde formée en aplatissant la tige et la repliant à angle droit, qui sert à vider le trou, et, de l'autre, un œil oblong dans lequel on passe des étoupes, ou des chiffons, qui servent à le sécher.

Le bourroir est une tige métallique renflée vers le bas, avec laquelle on tasse les matières dont on remplit le trou par-dessus la cartouche de poudre placée au fond.

L'épinglette est une tige mince et pointue, qu'on enfonce jusque dans la poudre, et qu'on maintient en place pendant le bourrage, pour ménager un petit canal qui servira à mettre le feu à la poudre. Le renflement du bourroir est échancré de manière à loger l'épinglette.

(**118**) Le travail s'exécute de la manière suivante.

Après avoir dépouillé, à l'aide de leviers (*fig.* 114), ou du pic à rocher, ou de la pointerolle, toute la partie que le coup de mine ou fourneau précédent avait suffisamment ébranlée ou fissurée, l'ouvrier examine, d'après la nature du rocher et d'après la forme actuelle de l'excavation, l'emplacement, la direction et la profondeur à donner au nouveau trou. Les conditions à remplir sont d'abord, autant que possible, de s'arranger pour que la roche soit convenablement dégagée d'un côté, c'est-à-dire qu'il y ait *une ligne de moindre résistance*, perpendiculairement à laquelle les fissures principales se détermineront; ensuite, de ne prendre ni trop ni trop peu



Digitized by Google

de rocher à abattre en une fois. Dans le premier cas, on risque de voir le trou se décharger comme une arme à feu, ou *faire canon ;* dans le second, on fait une dépense de poudre inutile.

L'emplacement choisi, si la surface en est glissante, l'ouvrier y donne d'abord quelques coups de pic ou de pointerolle ; puis il commence à battre, avec le fleuret le plus court et la massette, en tournant à chaque fois d'un huitième ou d'un dixième de tour, pour faire le trou bien rond.

Si le trou est fait en plongeant, condition qu'on tâche d'avoir en général, on le tient rempli d'eau, pour délayer la boue produite par le battage et empêcher l'outil de s'empâter et de s'échauffer. Une petite rondelle en paille ou en cuir, percée d'un trou pour laisser passer le fleuret, peut être placée sur le trou, pour diminuer le rejaillissement de l'eau au dehors.

On change de fleuret à mesure que son tranchant s'émousse, et on le remplace par un fleuret d'une longueur proportionnée à la profondeur du trou.

On fait le curage du trou, de temps en temps, en y passant la curette, qui retire les boues formées par le fleuret. Si ces boues sont trop liquides, on leur donne la viscosité convenable, en introduisant dans le trou une pelotte d'argile, ou de chaux vive ou de plâtre cuit, qu'on délaye dans l'eau.

Lorsque le trou a atteint sa profondeur, qui varie de $0^m,40$ au moins à $0^m,60$, $0^m,80$, $1^m$ et plus, selon les cas, on le cure une dernière fois avec soin, et on le sèche à l'aide des étoupes ou des chiffons, qu'on passe dans l'œil de la curette, et dont on fait une sorte de tampon qui, promené dans le trou, enlève l'eau par imbibition.

Si la roche est fissurée et peut donner de l'eau *dans le trou*, on le glaise, en le bourrant avec quelques boudins d'argile et reforant rapidement à l'aide du fleuret et de la curette.

S'il arrive de l'eau *autour de l'orifice du trou*, on établit une espèce de petite digue annulaire en terre grasse, pour l'empêcher d'y tomber.

Il faut alors introduire la poudre. Elle doit être apportée par l'ouvrier, en cartouches préparées d'avance, et *être toujours introduite dans le trou avec sa cartouche*. On met une ou plusieurs cartouches,

Digitized by Google

selon la dose de poudre qu'on veut employer. Assez habituellement la poudre remplit le tiers ou la moitié de la longueur du trou.

L'épinglette doit pénétrer jusque vers le milieu de la charge.

Ensuite, tenant l'épinglette appuyée contre la paroi du trou, on tasse avec le bourroir sur la cartouche, jusqu'à l'orifice du trou, des boudins d'argile préparés à l'avance, de la brique pilée, des schistes tendres, etc. Ces matières sont introduites par petites parties qu'on bourre successivement, *avec une force croissante* à mesure qu'on s'éloigne de la poudre. Pendant ce bourrage, l'ouvrier tourne de temps en temps l'épinglette, pour l'empêcher d'adhérer trop fortement.

Le bourrage terminé, il retire l'épinglette à l'aide du bourroir passé dans l'anneau de la tête, en tirant ou frappant à petits coups sur ce bourroir Dans le petit canal ainsi réservé, on met une amorce, ou boute-feu, qu'on peut fabriquer de diverses manières.

Tantôt on prend un fétu de paille, que l'on coupe au-dessous de deux nœuds ; on le remplit de poudre fine, et on le fixe avec un peu d'argile à l'entrée du trou, le nœud vers l'intérieur. Lorsqu'on l'enflamme, il prend un mouvement de recul, comme une petite fusée, et va porter le feu dans la cartouche.

Tantôt l'amorce occupe toute la longueur du trou de l'épinglette, et est formée par une série de *canettes*, ou *raquettes*, enfilées les unes à la suite des autres. Ces canettes sont des cônes en papier très-allongés, enduits de poudre.

On les obtient en délayant de la poudre dans une dissolution gommeuse, et y trempant des bandes de papier qu'on enroule, jusqu'à ce qu'elles soient sèches, autour d'une pointe d'épinglette.

Les canettes en place, on y adapte une mèche en coton qui a été trempée dans du soufre fondu, et que l'ouvrier a soin de flamber avant de la mettre en place, en la passant rapidement dans la flamme de sa lampe. Il la fixe à la dernière canette qui dépasse le trou, avec un peu de terre grasse ou de suif.

S'il y a un courant d'air dans un sens déterminé, il a soin de la tourner sous le vent ; puis il observe si toutes les mesures sont prises pour qu'il puisse effectuer sa retraite. Si, par exemple, il travaille au fond d'un puits, il doit donner le signal convenu pour

Digitized by Google

qu'on soit prêt à enlever la benne, et il doit avoir reçu la réponse à ce signal. Il avertit de la voix tous les ouvriers qui peuvent travailler dans le voisinage.

Quand toutes ces mesures sont prises, il met le feu à l'extrémité de la mèche et se retire immédiatement. La prudence veut qu'il se retire assez loin, parce qu'il y a des exemples de projections à de grandes distances.

Lorsque le bruit de l'explosion s'est fait entendre, il se rapproche, examine comment *la mine a travaillé*, observe les fissures produites, sonde le rocher à l'aide de sa massette, et fait tomber, à l'aide du pic à rocher ou de leviers, toutes les parties que l'explosion a suffisamment ébranlées.

Lorsque l'explosion ne survient pas dans le temps ordinaire, une à deux minutes, il faut attendre, avant de se rapprocher, *au moins dix à douze minutes*, parce que diverses circonstances, faciles à concevoir, peuvent ralentir la combustion de la mèche et des canettes. On a même des exemples de coups partis plus tardivement que nous ne venons de le dire.

Revenu sur le trou, l'ouvrier enlève la mèche et les canettes, en place d'autres, après s'être assuré que le trou de l'épinglette n'est pas obstrué, et remet le feu.

Si, après deux ou trois tentatives semblables, le coup ne part pas, on suppose que la poudre est noyée ; le mieux est d'abandonner ce trou et d'en faire un nouveau à côté. On ne doit du moins le débourrer qu'avec beaucoup de précaution, et autant seulement que la poudre a été introduite dans une cartouche, et qu'il s'agit d'un trou plongeant, qu'on peut tenir noyé en grand pendant le débourrage.

(**119**) Tel est le travail ordinaire du mineur au rocher.

Ce travail donne lieu à des accidents assez fréquents dont il importe de préciser les causes.

Ils peuvent arriver :

Au moment de l'introduction de la cartouche enfilée sur l'épinglette, si celle-ci, introduite trop brusquement, vient à frotter fortement contre quelque aspérité quartzeuse ;

Quelquefois, pense-t-on, au commencement du bourrage, si la

Digitized by Google

première pelote d'argile est enfoncée trop brusquement à coups de bourroir, de manière que l'air interposé entre elle et la poudre fonctionne comme dans un briquet pneumatique ;

En tournant l'épinglette pendant le bourrage, ou en la retirant à la fin, ou encore si un coup de massette maladroit vient frapper sur sa tête et fait porter la pointe sur le fond du trou ;

Si le coup de mine part prématurément, faute d'avoir bien placé la mèche, ou de l'avoir prise assez longue ;

Si, au contraire, le coup part tardivement, au moment où l'ouvrier se rapproche pour voir quelle est la cause du raté qu'il suppose ;

Enfin, au débourrage, après un raté.

On évite un grand nombre de ces accidents, en remplaçant les épinglettes en fer par des épinglettes en cuivre rouge, ou en bronze, ou en laiton, ou dont la pointe au moins est en laiton, ou même par des épinglettes en bois, et en faisant en outre la tête des bourroirs en bronze, ou les bourroirs tout entiers en bois. Ces dispositions ont été jugées assez importantes pour que, dans quelques pays, on ait trouvé à propos de les rendre obligatoires; elles sont néanmoins assez peu du gré des ouvriers, parce que ces épinglettes se faussent ou se cassent trop facilement. Le bourroir en bronze ou en bois semble d'ailleurs sans utilité réelle, lorsque la poudre n'est pas versée directement dans le trou, mais introduite avec une cartouche, comme il faut toujours le faire.

On peut faire mieux, en supprimant l'épinglette, et employant ce qu'on appelle des mèches de sûreté, ou des *étoupilles de Bickford.*

Ce système, aujourd'hui très-employé, peut-être même *plus employé que l'épinglette*, consiste à remplacer les canettes par des cordelettes, ou étoupilles, dans l'axe desquelles on introduit, au moment de la fabrication, de la poudre fine, qui forme une traînée continue fortement serrée par les fils qui l'enveloppent. Le mineur coupe ces étoupilles de longueur, au moment de l'emploi, en introduit un bout dans la cartouche, dont il lie les bords sur l'étoupille avec une petite ficelle, ou avec les fils de l'étoupille même détordue sur une petite longueur (*fig.* 115).

La cartouche enfoncée au fond du trou, l'étoupille se loge sur le côté, et tient la place de l'épinglette qui devient inutile.

Digitized by Google

Le bourrage terminé, on met directement le feu au bout de l'étoupille.

Celle-ci brûle lentement, avec une vitesse de $0^m,50$ à $0^m,60$ par minute, qui donne à l'ouvrier le temps de se mettre à l'abri.

Dans une étoupille, la combustion de la traînée de poudre n'est pas instantanée, mais successive, par un effet analogue à celui qui se produit dans une fusée ordinaire. Par suite de la compression, les gaz que dégage la combustion des premiers grains de poudre ne peuvent s'étendre en arrière, et les grains suivants ne s'enflamment qu'en vertu de la conductibilité que présente l'étoupille, au fur et à mesure que ses divers éléments arrivent à une température suffisante.

Ce système, inventé depuis une quarantaine d'années dans le Cornouailles, s'est beaucoup répandu depuis cette époque. Il offre, en effet, de nombreux avantages, au point de vue de la commodité dans l'emploi, à celui de l'augmentation d'effet utile, *qui doit résulter de la suppression du trou de l'épinglette*, et enfin à celui de la plus grande sécurité qui résulte de cette suppression, directement à cause des dangers que présente le maniement de cet instrument, indirectement à cause de la diminution du nombre des ratés.

Il a un autre avantage important, lorsque les trous de mine sont très-humides, ou lorsqu'il s'agit de tirer sous l'eau. Habituellement, pour ce tirage sous l'eau, on emploie un tube en fer-blanc, ou en tôle mince, muni d'un fond, qu'on place dans le trou, et à l'intérieur duquel on fait la charge comme à l'ordinaire; mais il est lus simple d'employer des cartouches formées à l'avance au moyen de petits sacs rendus imperméables par leur immersion dans du goudron, et de remplacer l'étoupille ordinaire, ou étoupille blanche, par une étoupille goudronnée imperméable.

A côté de ces divers avantages, ces étoupilles ont l'inconvénient du prix, qui est d'autant plus sensible que la poudre et la main-d'œuvre sont moins chères. Aussi sont-elles d'un emploi presque général en Angleterre, et plus étendu en France qu'en Belgique et surtout en Allemagne.

**(120)**. Le travail ci-dessus décrit est le travail ordinaire, dit *à un*

Digitized by Google

*homme*. Dans quelques districts de mines, assez souvent en Angleterre, par exemple, et dans la plupart des travaux à ciel ouvert, on emploie le travail *à deux hommes*, quelquefois *à trois hommes*, qui diffère du précédent en ce que deux ou trois ouvriers travaillent au même trou de mine : l'un tient le fleuret avec les deux mains, et le fait tourner, tandis que l'autre ou les deux autres frappent dessus à grands coups d'une grosse masse tenue aussi à deux mains, pesant 5 ou 6 kilogrammes et quelquefois jusqu'à 10 kilogrammes, et munie d'un long manche de $0^m,70$ à $0^m,80$.

On emploie aussi, dans beaucoup de travaux à ciel ouvert, le travail à un seul homme, en supprimant la massette, et remplaçant le fleuret ordinaire par ce qu'on appelle une *drague*, qui n'est qu'un gros fleuret un peu renflé au milieu, pour être bien en main, et terminée aux deux bouts par un tranchant. Cet outil fonctionne en battant comme avec une sonde.

Il importe de se rendre compte de ces deux dispositions : le travail à plusieurs hommes, et le travail à la drague.

En principe, si l'on désigne par M la masse du fleuret, par M′ celle de la massette, par V la vitesse que celle-ci possède en arrivant sur la tête du fleuret, par U la vitesse, supposée commune, de ces deux corps après le choc, on a d'après le principe du mouvement du centre de gravité :

$$M'V = (M + M')\,U$$
$$U = \frac{M'}{M + M'}\,V$$

L'effet de la percussion sera proportionnel à

$$(M + M')\,U^2 = \frac{M'}{M + M'} \times M'V^2,$$

le travail que l'homme a développé dans le maniement de la masse étant égal à $\frac{1}{2}\,M'V^2$.

Son rendement est donc proportionnel à la fraction $\frac{2M'}{M+M'}$ c'est-à-dire qu'il augmente si M′ augmente ou si M diminue.

Digitized by Google

On passera au cas de la drague, en supposant que le corps choquant agit directement sur la roche, ou en faisant $M = 0$.

Ainsi, *en premier lieu*, le travail à deux hommes peut être préférable, parce qu'il permet l'emploi de massettes plus lourdes. On pourrait penser le contraire, au premier abord, en considérant que l'homme qui tient le fleuret n'a pas sa force convenablement utilisée; mais comme les ouvriers se relayent, et qu'un travail aussi rude que celui du battage ne pourrait être soutenu, et demande d'être coupé par de fréquents repos, les ouvriers utilisent ces repos, à tour de rôle, en tenant le fleuret, et à la fin de leur journée leur temps a été mieux employé que dans le tirage à un homme.

*En second lieu*, pour le travail à la drague, l'effet utile est plus considérable que pour le travail à la massette, parce qu'on évite les vibrations nuisibles, ou la perte de force vive de translation, qui accompagnent le choc de la massette sur l'outil.

Cependant, dans un chantier étroit, comme beaucoup de galeries au rocher, l'emplacement du trou doit être déterminé, avant tout, par la considération de faire travailler le mieux possible le coup de mine; il ne serait donc pas toujours commode d'employer soit la drague soit le tirage à deux hommes, et le travail à un homme est le plus souvent en usage. Mais ce qui tendrait bien à faire penser que les autres moyens peuvent présenter quelque avantage (qu'il ne faut pas du reste s'exagérer), c'est qu'on y revient volontiers, lorsque la question de l'exiguïté d'emplacement n'est pas engagée; par exemple, ainsi que nous l'avons dit plus haut, dans beaucoup de travaux à ciel ouvert (118 à 120).

**(121)** Ce qui est décrit dans les cinq numéros précédents constitue le travail de l'abattage à la poudre, tel qu'il s'exécute dans le plus grand nombre de cas.

On a fait, pour le perfectionner, de très-nombreuses tentatives, qu'il convient d'énumérer, en indiquant sommairement leur objet et leurs résultats.

Afin de *diminuer la consommation de poudre pour un effet donné*, ou, ce qui revient au même, d'augmenter l'effet d'une quantité donnée de poudre, on a cherché à faire agir la poudre sur une plus

Digitized by Google

grande surface, en se basant sur cette remarque qu'au moment où l'explosion détermine une fissure suivant un certain plan, les deux forces, égales et directement opposées, qui la produisent, s'obtiendront en prenant la pression des gaz sur l'unité de surface et la multipliant par l'aire comprise dans le contour apparent sur ce plan du volume occupé par les gaz.

Si $d$ est le diamètre du trou et $h$ la hauteur occupée par les gaz, *et que le plan de la fissure passe par l'axe du trou*, ce contour apparent est égal à $hd$.

On augmente la hauteur $h$, en ménageant un certain espace, au-dessus ou au-dessous de la cartouche, au moyen d'un petit tasseau en bois ayant le diamètre du trou sur une petite longueur, et évidé en son milieu comme une sorte de gorge de poulie, ou bien prolongé par une queue d'un petit diamètre (*fig.* 116).

On le mettra, par exemple, au fond du trou, la queue en bas et la cartouche par-dessus ; quelques échancrures au pourtour du corps du tasseau permettent aux gaz, au moment de l'explosion, de se répandre dans l'intervalle vide autour de la queue. Si $h'$ est la hauteur du tasseau, la surface active, pour une cartouche de hauteur $h$, est $(h+h')d$, et *l'on suppose* que l'action sera plus grande que si elle ne s'exerçait que sur une surface $hd$.

Ce raisonnement n'est exact que *si le volume* qu'occupent les gaz sur la hauteur $h'$ peut être négligé ; c'est-à-dire si la queue remplit la majeure partie du trou. Si, au contraire, cette queue était assez mince pour être elle-même négligée, la loi de Mariotte montre que les pressions étant en raison inverse des volumes, on aurait, avec ou sans tasseau, la même pression totale, et la loi de Laplace montre même qu'au plus grand volume correspondrait la moindre pression totale, à cause de la réduction de température due à la détente (*Cours de Machines*, Chap. X), sans compter le refroidissement dû au contact d'une paroi plus étendue.

On a raisonné d'une autre manière, en supposant que l'espace vide ménagé par le tasseau produirait un phénomène analogue à ce qui se passe lorsqu'on bouche, même assez légèrement, l'extrémité du canon d'un fusil chargé. On sait que l'on arrive très-facilement à crever l'arme au tonnerre.

Digitized by Google

Si un fusil ne crève pas à chaque coup, c'est parce que la charge a une assez petite masse pour pouvoir prendre presque instantanément une très-grande vitesse, et fournir ainsi un volume rapidement croissant, à mesure que les gaz se dégagent par l'explosion de la poudre. Si un obstacle ferme l'extrémité du canon, il ne peut être expulsé que par la compression de l'air contenu dans le canon entre lui et la charge. Cette compression retarde le mouvement de la charge, donne le temps à l'explosion de se faire plus complétement, et comme le développement du gaz est, non pas rigoureusement instantané, du moins extrêmement rapide, le moindre ralentissement de la charge, dû à une cause extérieure, peut augmenter considérablement la pression qui correspond à une position donnée de cette charge dans le canon. Le même effet de rupture peut se produire, et par une raison analogue, lorsque la charge n'a pas été bien bourrée jusque sur la cartouche de poudre, ou que celle-ci n'a pas été bien descendue jusqu'au fond du canon.

De ces faits on a voulu conclure que le tasseau par-dessous, disposé comme on vient de le dire, augmentait la pression sur le rocher.

L'analogie et la conclusion ne semblent pas parfaitement exactes.

Si l'on veut assimiler un trou de mine à un canon de fusil, c'est à un canon, dont la charge ne part pas, ou du moins *ne doit pas partir*, parce qu'elle est bourrée très-fortement et qu'elle a une grande masse occupant toute la longueur du canon. Il n'est nullement démontré que, dans ces conditions, le canon crèverait plus facilement, avec une charge donnée, s'il y avait un vide sous la cartouche que s'il n'y en avait pas. L'expérience n'a pas prononcé, et le raisonnement semblerait plutôt indiquer le contraire.

Je ne pense donc pas que la méthode du *tirage au tasseau par-dessous* présente les avantages qu'on lui a attribués, et, en fait, l'emploi ne s'en est pas répandu.

Une autre manière d'augmenter la hauteur qu'occupe la cartouche, est de mélanger la poudre avec une matière inerte, telle que du sable ou de la sciure de bois. Au premier abord, on a ainsi le *même volume initial* de gaz et, par conséquent, la *même pression théorique* s'exerçant *sur une plus grande surface*, et par conséquent,

Digitized by Google

un effet plus grand sur le rocher ; l'avantage semble donc évident.

Mais il faut remarquer qu'on n'a pas la *même température*, et que, par conséquent, cette hypothèse d'une *même pression* n'est pas exacte. La température est réduite en effet par la matière du mélange et par une plus grande étendue des parois ; elle l'est également parce que la combustion se fait d'une manière moins instantanée, et que l'action refroidissante des corps étrangers trouve ainsi à s'exercer plus longtemps.

Le système, sans être irrationnel, ne saurait donc avoir tout l'avantage qu'un premier aperçu lui donne. C'est à l'expérience à prononcer, et cette expérience, faite à plusieurs reprises, ne lui a pas été favorable, en ce qui concerne du moins la poudre ordinaire.

Un autre système peut consister à remplacer la sciure de bois *mêlée à la poudre* par un tasseau de bois *juxtaposé à la poudre*, occupant toute la hauteur de la cartouche. Il a la forme, soit d'un demi-cylindre ayant une section égale à la moitié de celle de la cartouche, soit d'une tige cylindrique placée dans l'axe. La masse de poudre affecte alors la forme, soit d'un demi-cylindre, soit d'un cylindre creu (*fig.* 117).

Dans le premier cas, le plan diamétral séparant le tasseau de la poudre doit être placé suivant le plan où *l'on suppose* que la fissure doit se faire, ce qui est une difficulté et une sujétion ; dans le second, les surfaces refroidissantes ont trop d'importance.

Ce système quoique également assez rationnel, plus rationnel même que l'emploi de la sciure de bois, ne s'est pas répandu.

(**122**) On a cherché à *diminuer le travail du forage*, en diminuant le diamètre du trou sur la plus grande partie de sa longueur, et l'élargissant seulement à la base, dans la partie qui doit recevoir la poudre.

M. Courbebaisse, ingénieur des ponts et chaussées, produit cet élargissement, dans les roches calcaires, au moyen d'acide chlorhydrique, qui les dissout en formant une chambre plus ou moins sphérique ; M. Trouillet, entrepreneur de travaux publics, au moyen d'outils élargisseurs appropriés, formant une cavité cylindrique (*fig.* 118).

Digitized by Google

L'avantage, au point de vue de la main-d'œuvre, est évident; avec un moindre travail de broyage par le fleuret, on arrive à obtenir une plus grande surface agissante, ayant son centre de gravité à une distance donnée de l'orifice du trou.

Seulement, le procédé de M. Courbebaisse ne s'applique qu'à un cas particulier, celui des roches calcaires (quoiqu'on l'ait aussi indiqué pour les minerais de fer), et celui de M. Trouillet exige un ensemble d'outils assez complexes, qui ne seraient peut-être pas d'une très-grande efficacité dans des roches très-dures, et qu'il serait d'ailleurs impossible de fabriquer sur les dimensions restreintes nécessaires pour passer dans les trous étroits qu'emploie le travail ordinaire des mines.

Ces deux procédés, quoique très-rationnels, ne semblent donc pas appelés à se répandre beaucoup dans la pratique journalière des mineurs. Celui de M. Courbebaisse est employé, paraît-il, dans quelques carrières du département de l'Isère.

(**123**) Pour *diminuer le travail du bourrage, et en même temps ses dangers*, on peut mettre dans le trou un mortier de plâtre ou de chaux hydraulique, qu'on prépare au moment de l'emploi en le gâchant très-serré. Ces matières font prise assez vite pour opposer une résistance suffisante au moment du tirage.

On peut même se borner à y verser du sable, qu'on se contente de tasser légèrement. La pression qu'exerce la poudre à la partie inférieure de la colonne de sable, détermine contre les parois du trou une poussée latérale, et, par conséquent, un frottement qui croît avec cette pression et empêche la colonne d'être projetée au dehors (c'est un effet analogue à celui qui se produit au-dessus de la navette de Kind, lorsqu'on tend le câble pour la remonter, voir n° 96).

Ce système n'est guère employé dans les travaux de mines, où les trous sont peu profonds et faits dans des directions souvent rapprochées de l'horizontale ou même montantes; mais il peut très-bien s'appliquer à des fourneaux rapprochés de la verticale et suffisamment profonds.

(**124**) On peut se demander si, en principe, il vaut mieux, pour

Digitized by Google

un travail donné, tendre à augmenter qu'à diminuer l'importance individuelle des coups de mine.

La question ne se présente point de la même manière *pour une galerie souterrain à petite section*, où la plupart des coups de mine ont des dimensions déterminées par la condition d'agir sur une surface donnée ayant son centre d'action en un point également donné, et *pour un ouvrage à grande section*, dans lequel on est maître d'avancer par une série de gradins ayant la hauteur que l'on veut, et une largeur qu'on peut regarder pratiquement comme indéfinie, en négligeant l'influence qu'exercent les parois latérales du chantier sur une petite partie seulement de cette largeur.

Dans le premier cas, désignons toujours par $d$ le diamètre, et $h$ la profondeur totale du trou ; appelons $\mu h$ la profondeur à laquelle se trouve le centre de la cartouche, ou $2h(1-\mu)$ la longueur de cette cartouche (*fig.* 119).

Le travail du forage est évidemment proportionnel à $d^2h$, la dépense de poudre l'est à $2d^2h(1-\mu)$ ; enfin la surface qui reçoit l'impression l'est à $2dh(1-\mu)$.

L'effet utile est donc de la forme

$$\frac{2dh(1-\mu)}{d^2h} = 2\frac{1-\mu}{d}, \text{ ou bien } \frac{2dh(1-\mu)}{2d^2h(1-\mu)} = \frac{1}{d},$$

suivant qu'on le compare au travail du forage ou à la dépense de poudre. Dans les deux cas, il est inversement proportionnel au diamètre ; il vaut donc mieux tendre dans le sens de *la diminution de diamètre* et de *l'augmentation de profondeur* que dans un sens inverse.

C'est l'avantage, ou plus exactement, *un des avantages* qu'on trouve à remplacer les burins en fer par des burins entièrement en acier, qui peuvent être plus minces et fonctionner dans des trous plus étroits. La réduction de leur diamètre entraîne d'ailleurs la réduction de leur poids, circonstance favorable comme nous l'avons vu plus haut (n° 120).

Dans le deuxième cas, on peut avoir des gradins plus ou moins hauts, et les avancer avec des coups de mine plus ou moins importants. Si nous supposons, pour nous réduire à l'examen d'un cas

Digitized by Google

simple, que les deux figures soient semblables en tout, on pourra dire :

Que le *travail du forage*, la *dépense de poudre* et le *volume détaché*, sont comme les cubes des dimensions homologues, et que la *surface utile* sur laquelle la pression s'exerce et la *surface* de roches *détachées* par le coup de mine, sont comme les carrés de ces mêmes dimensions ; d'où l'on conclut que l'échelle sur laquelle sont menés les gradins, est théoriquement indifférente, en employant des coups de mine dont les diamètres, les profondeurs et les longueurs de charge sont proportionnels, et qui sont semblablement placés. L'avantage pratique semble cependant devoir être en faveur de la grande échelle, la masse de poudre se refroidissant d'autant moins facilement, et l'évent de l'épinglette, qui a une grosseur presque constante, ayant d'autant moins d'importance que le trou est plus gros.

(**125**) On a cherché *à augmenter l'effet de la poudre*, en faisant partir simultanément un certain nombre de coups de mine.

On a toujours soin d'en agir ainsi dans un chantier qui occupe un grand nombre d'ouvriers, afin de ne pas multiplier, dans le cours d'une journée, le temps perdu par les hommes lorsqu'ils sont obligés de se mettre à l'abri. On sait alors combien on a chargé de coups de mine, et on se rapproche du chantier dès qu'on a entendu un nombre correspondant de détonations.

Mais j'entends parler ici d'une *simultanéité complète*, telle qu'il faut la supposer pour faire coexister les ébranlements que produit chaque explosion dans la roche.

On comprend que cette coexistence doive, pour deux trous voisins, augmenter l'effet de chacun d'eux ; que si, par exemple, deux coups de mine sont tirés simultanément en A et B, sur une ligne parallèle à un front CD, suivant lequel la roche est dégagée (*fig.* 120), un point *m* intermédiaire, où la fissure produite, soit en A, soit en B, ne s'étendrait pas sous les effets insuffisants de tension qui se produiraient en ce point par suite de *chacune des explosions*, puisse au contraire se fissurer, si ces effets viennent à s'ajouter, *à se superposer*, pour ainsi dire, et à donner ainsi une résultante suffisante, par suite de leur simultanéité.

Digitized by Google

On n'arriverait pas à ce résultat, si l'on se contentait d'amorcer avec des étoupilles de même longueur allumées en même temps ; car elles ne brûlent pas avec une régularité parfaite, surtout si elles sont différemment comprimées, et la plus comprimée sera habituellement la plus lente.

Le seul moyen praticable, pour réaliser la simultanéité indiquée, est d'employer l'électricité. Ce moyen, outre l'avantage ci-dessus établi, de rendre cette simultanéité complète, en possède un autre important, au point de vue de la sécurité des ouvriers, puisqu'il prévient absolument les causes multiples auxquelles sont dues les explosions, soit prématurées, soit tardives. Avec ce moyen, en effet, le feu est mis à la poudre, à un instant parfaitement déterminé, sans aucun intermédiaire, et lorsqu'on s'est assuré que les ouvriers se sont mis à l'abri.

Le procédé a d'ailleurs encore un autre avantage, important, celui de faciliter et de simplifier beaucoup le tirage dans les roches humides ou sous l'eau.

On peut donc penser que l'emploi de l'électricité est appelé à se répandre de plus en plus, dans tous les travaux où il est *possible*, et par conséquent *opportun*, de tirer à la fois plusieurs coups de mine.

D'ailleurs on peut employer, ou l'électricité statique, au moyen de machines électriques ordinaires, ou l'électricité galvanique, soit au moyen de piles ayant un nombre suffisant d'éléments, soit au moyen de courants d'induction obtenus par la bobine de Rumkorff.

Sans entrer, sur ces divers modes d'emploi de l'électricité, dans des détails qui sont du domaine de la physique, nous nous bornerons à quelques indications sur les dispositions à prendre pour l'application particulière qui nous occupe.

Il faut toujours déterminer l'inflammation de la poudre, soit au moyen d'une étincelle électrique, soit en portant au rouge un fil métallique très-fin faisant partie d'un courant.

Dans le premier cas, on met au milieu de la poudre une petite capsule en bois ou en carton, à moitié remplie d'un mélange fulminant, composé de diverses manières, assez souvent de chlorate de potasse et de sulfure d'antimoine, par parties égales. Des fils de laiton,

Digitized by Google

convenablement isolés par un enduit de colophane ou d'asphalte appliqué à chaud, se recourbent dans l'intérieur de la capsule de façon à mettre leurs pointes presque en contact. La capsule est ensuite bouchée et entourée d'une petite masse de coton en laine. On la fixe à l'extrémité d'une baguette mince, qui présente *à sa surface* deux rainures longitudinales dans lesquelles se logent les deux fils, ou plutôt qui est formée de deux plaquettes de bois, collées l'une sur l'autre et formant par leurs rainures en regard l'une de l'autre *deux petits conduits intérieurs* qui reçoivent ces fils.

La capsule est introduite dans la cartouche, ou dans la masse de poudre déjà versée au fond du trou, et la baguette se place sur le côté comme une épinglette; on peut, si l'on veut, pour rendre le bourrage plus commode, supprimer cette baguette, et maintenir simplement à la main les deux fils contre les parois du trou. L'extrémité de ces fils s'attache, l'une au fil conducteur qui vient de la machine, l'autre à un autre fil qui va à un second trou de mine, et ainsi de suite, jusqu'au dernier trou, dont le second fil revient à l'autre pôle de la machine, ou communique librement avec le sol qui ferme le circuit.

L'étincelle est produite par une machine électrique ordinaire, munie d'un condensateur convenable.

Un tel appareil comporte un petit volume, est facile à transporter et d'un maniement et d'un entretien plus commodes, peut-être, qu'une pile voltaïque. On allume facilement, avec son aide, dix à douze coups de mine, à 1 kilomètre et plus de distance; ce qui dépasse les besoins de la pratique des mines.

On a pu d'ailleurs, dans des expériences où l'on a recherché quelle était la limite d'application du procédé, enflammer cinquante mines placées sur une ligne de 200 mètres, à plus de 10 kilomètres de distance.

Dans le cas d'un courant galvanique produit par une pile, les deux fils indiqués ci-dessus sont réunis, à l'intérieur de la cartouche, par un fil de platine assez fin pour opposer au courant, lorsqu'on ferme le circuit, une résistance telle qu'il devienne incandescent. Le système peut être employé pour un petit nombre de coups et une distance de quelques centaines de mètres.

Digitized by Google

Pour aller au delà, il faudrait augmenter de plus en plus le nombre des éléments de la pile.

On remplace avec avantage cet appareil par la bobine de Ruhmkorff, qui donne des effets de tension électrique incomparablement supérieurs à ceux de tout autre procédé, et qui réalise, au moyen de l'étincelle, la simultanéité complète de l'explosion de divers coups de mine, comme avec la machine électrique.

(**126**) On sait que la poudre de mine ordinaire, employée en France, a la composition suivante :

| | | |
|---|---|---|
| Nitrate de potasse ou salpêtre | 65 | parties. |
| Soufre | 20 | — |
| Charbon | 15 | — |
| Total | 100 | — |

Dans ces dernières années, de nombreuses tentatives ont été faites avec d'autres compositions explosibles, et il importe de se rendre compte des résultats obtenus.

En principe, une composition quelconque étant donnée, ses propriétés dépendront essentiellement de son volume spécifique, du volume correspondant des gaz que son explosion produit, de la température de ces gaz, et enfin de la rapidité avec laquelle cette production s'opère.

Le volume et la température des gaz sont les deux éléments desquels dépendrait la pression théorique initiale, dont l'intensité, plus ou moins grande, constitue les poudres *fortes*, et les poudres *faibles*.

La rapidité, plus ou moins grande, du développement des gaz constitue les poudres *vives*, ou *brisantes*, et les *poudres lentes*.

Il faut tenir compte, en outre, de la *nature des gaz* développés, en ce sens que les phénomènes de *dissociation* dus à la très-haute température produite, sont variables avec cette nature. La dissociation tend à réduire la température initiale; puis, lorsque la température et la pression ont diminué suffisamment pour permettre la reproduction et le maintien des combinaisons définitives, il en résulte une nouvelle production de chaleur, et par suite la pression



Digitized by Google

décroît moins rapidement, avec le temps ou avec l'augmentation du volume, que ne l'indiquerait la théorie.

Ainsi une matière explosible *brisante par excellence*, serait celle qui donnerait, à la fois, avec une explosion très-rapide, une pression et une température des gaz très-élevées, et des produits gazeux *définitifs*, non susceptibles d'être décomposés au premier instant par un phénomène de dissociation.

Tel serait, par exemple, le cas du chlorure d'azote, dont la détonation produit deux corps simples, le chlore et l'azote, qui n'ont aucune tendance à se combiner de nouveau, quelles que soient la température et la pression. Ce corps produit instantanément *toute la pression* et *toute la température* dont il est capable ; puis il y a abaissement extrêmement rapide de cette pression et de cette température, par le contact des parois et par la détente résultant de leur écartement.

Au contraire, avec la poudre ordinaire, la combustion est plus lente, et il peut se faire que les parois cèdent assez vite pour que l'augmentation de volume ait lieu avant même que la combustion soit entière (c'est même ce que l'observation la plus simple indique, en montrant que généralement le dégagement du gaz est accompagné de fumée, qui témoigne d'une combustion incomplète). Il en résulte que la pression initiale est *moindre*, mais qu'elle se maintient *plus longtemps*, et par la continuation de la combustion, et par la reconstitution des produits définitifs de cette combustion, d'abord détruits par la dissociation.

En somme, la grandeur de la force initiale est moindre, mais son impulsion (produit de la force par le temps), et son travail (produit de la force par l'espace parcouru), sont plus grands, et, par conséquent, il en est de même soit de la quantité de mouvement, soit de la force vive imprimées aux parois qui cèdent à l'action de la force.

La première de ces deux substances sera donc essentiellement une *matière brisante ;* la seconde sera de préférence *une poudre de projection.*

On voit par cette théorie, empruntée à M. Berthelot (Compte rendu séances de l'Académie des Sciences, tom. LXXI), comment, con-

Digitized by Google

naissant la composition d'un mélange explosif quelconque et la nature des produits de l'explosion, et étant en outre fixé par une expérience directe sur la rapidité avec laquelle la déflagration commencée en un point se propage dans la masse entière, on saura apprécier à l'avance à quelle catégorie le mélange appartiendra : soit à celle des matières brisantes, soit à celle des matières propres à lancer des projectiles.

(**127**) Au point de vue de l'art des mines, une question se présente : A laquelle des deux catégories le mineur doit-il donner la préférence?

Dans le plus grand nombre des cas, la réponse n'est pas douteuse, car c'est la *rupture* et non la *projection* du rocher qu'il s'agit de produire. Cette opinion toutefois est loin d'être généralement admise, et même, en fait, la poudre de guerre et la poudre de chasse sont plus vives que celle qu'emploie le mineur. Beaucoup de personnes supposent qu'avec une combustion lente la force est mieux utilisée ; que le rocher, en d'autres termes, est mieux débité par une pression un peu prolongée que par un choc brusque.

C'est dans cet ordre d'idées, et aussi par économie, ou pour essayer de se soustraire au monopole de la régie, que dans ces dernières années ont été faites de nombreuses tentatives pour substituer à la poudre de mine des compositions plus lentes ; ainsi on a proposé de remplacer le nitrate de potasse par le nitrate de soude, qui est d'un prix moins élevé, mais qui a l'inconvénient d'être déliquescent et de rendre la poudre moins facile à préserver de l'humidité ; ainsi encore, on a complétement remplacé le charbon de bois par de la houille, ou partiellement par quelque autre matière organique, telle que le sucre en poudre, la farine, des résidus de tan, etc..., on a réduit la proportion de soufre, etc., etc.

Tous ces mélanges, préconisés par leurs inventeurs sous les noms variés de lithofracteurs, de poudre jaune, de poudre blanche, etc., ont eu chacun leur moment de succès. Mais la plupart, agissant comme des poudres lentes, comparés à la poudre de mine ordinaire, ne sont pas parvenus à se faire une place définitive dans la pratique des mines, où l'on peut dire que leur emploi est contre-

Digitized by Google

indiqué *dans la plupart des cas* où l'industrie des mines les utilise, c'est-à-dire avec des roches *dures et cassantes*.

Elles ne semblent applicables que dans ces deux cas :

*En premier lieu*, celui où l'explosion se ferait dans un milieu peu consistant, tel que des remblais terreux, où les pressions ne se peuvent communiquer à la masse que par suite d'un mouvement fini des molécules qui forment les parois de la chambre ; mouvement qui ne peut lui-même se faire, ni instantanément, ni sans une augmentation notable du volume de cette chambre (mais ce cas intéresse plutôt l'art militaire que celui de l'exploitation des mines).

*En second lieu*, celui où l'on voudrait produire l'arrachement du rocher sans ébranler les parois de l'excavation, ou bien en conservant aux fragments de rocher abattus une forme et une dimension données, et en faisant le moins de menu possible ; car les poudres très-vives, outre l'effet général de déchirement qu'on leur demande dans un sens déterminé, produisent tout autour de la chambre de mine des effets de broiement plus ou moins considérables.

Hors ces cas, lorsque le résultat à obtenir est de *faire l'excavation*, et non *d'utiliser la matière abattue*, c'est-à-dire dans le cas des ouvrages à travers bancs, on peut dire qu'*habituellement* on devra préférer les poudres *fortes et brisantes*, qui produisent des déchirements considérables dans les roches dures, dont l'action est tellement rapide que le travail du bourrage peut être très-réduit, et dont l'effet utile n'est que peu atténué par l'existence *de délits* ou de *druses* aboutissant à la chambre de mine.

A leur suite viendront les poudres *fortes et lentes* (celles qui conviennent le mieux pour les armes à feu).

Elles agissent sans produire les mêmes effets de broiement autour de leur chambre ; elles devront avoir un bourrage très-bien fait, très-bien tassé et offrant une masse suffisante.

Une structure déliteuse et drusique de la roche peut leur être extrêmement défavorable, en les faisant souffler au moment de la décharge. Elles sont exposées à donner lieu à des phénomènes de projection considérables.

Les poudres *faibles et lentes*, telles que la poudre de mine ordinaire, sont celles dont l'action est la moins favorable ; de sorte que

Digitized by Google

si la question du prix de la matière n'était pas aussi fortement engagée, la poudre de guerre ou, mieux encore, la poudre de chasse devraient être préférées par le mineur à la poudre qu'il est obligé d'employer, et que ces poudres elles-mêmes devraient céder le pas à des matières plus brisantes.

(**128**) C'est dans cet ordre d'idées, inverse en quelque sorte de celui qui a fait proposer les poudres lentes, qu'on a essayé dans ces dernières années le fulmi-coton, ou pyroxyle, employé à un état convenable de compression, la substitution du chlorate de potasse au nitrate, la nitro-glycérine, et enfin la *dynamite*, préparation dont le principe actif n'est autre chose que la nitro-glycérine.

La nitro-glycérine est un liquide qui, d'après sa densité et sa composition, peut, sous le même volume que la poudre, produire au moment de son explosion une pression *théorique* initiale huit à dix fois plus grande ; la matière peut, d'ailleurs, pendant la détente due à la dilatation de la charge, reprendre une certaine quantité de chaleur par la reconstitution d'éléments d'abord dissociés. Elle participe donc ainsi, à la fois, des propriétés que nous avons indiquées ci-dessus, pour le chlorure d'azote et pour la poudre ordinaire.

Elle est moins absolument brisante que le chlorure d'azote ; elle peut, plus que lui, produire des effets de projection.

M. Nôbel est le premier qui l'ait fabriquée en grand pour l'usage des mines, et qui soit arrivé à préciser les conditions, en apparence bizarres et paradoxales, sous lesquelles sa propriété explosive peut se développer.

Quoique infiniment plus détonante que la poudre, elle ne s'enflamme pas au contact d'un corps incandescent, ou, si elle s'enflamme, elle brûle tranquillement et sans fumée.

Contenue dans une enveloppe *non résistante* et jetée dans le feu, elle brise son enveloppe et brûle tranquillement ; si l'enveloppe est résistante, elle fait explosion après un chauffage suffisamment prolongé.

En couche très-mince, et soumise à un choc violent entre deux corps durs, comme entre une enclume et son marteau, elle fait

Digitized by Google

explosion sur le point choqué, sans que cette explosion se communique latéralement au reste de la couche.

Enfin une masse de nitro-glycérine au sein de laquelle, ou simplement au voisinage de laquelle on détermine l'explosion de corps fulminants (phénomène équivalant à un choc violent) détone toujours.

Ces diverses circonstances s'expliquent par l'état liquide de la substance et la faible conductibilité qui en est la conséquence, par sa grande chaleur spécifique, et enfin par sa propriété de se décomposer lentement sous l'action d'une chaleur graduellement croissante, et de se décomposer, au contraire, avec explosion, si la masse est portée rapidement à une certaine température (environ 190 à 200°).

On conçoit l'explosion due à un choc vif appliqué en un point de la masse, en se représentant que ce choc transforme la force vive du corps choquant en vibrations de la masse choquée et du corps choquant lui-même. Si les pressions qui résultent du choc sont trop subites pour avoir le temps de se répartir dans la masse, les premières couches peuvent prendre des vibrations équivalentes à celles que produirait l'application instantanée d'une température supérieure à 200°. Cette première couche se décompose donc brusquement, et les gaz qui se dégagent peuvent, à leur tour, produire, sur une seconde couche entourant la première, l'équivalent d'un choc, et ainsi de suite. La propagation de l'explosion a donc lieu dans toute la masse, chaque couche recevant, du choc des gaz développés dans la couche précédente, un mouvement vibratoire, ou une température qui détermine sa propre décomposition, et la fait agir, à son tour, sur la couche suivante.

Le moyen de produire à coup sûr l'explosion de la nitro-glycérine une fois trouvé, l'emploi de cette substance n'a pas tardé à se répandre dans la plus grande partie de l'Europe et en Amérique, et en France également, quoique sur une moins grande échelle.

Partout on a trouvé que son emploi diminuait la dépense et augmentait la rapidité du travail.

Mais la matière est restée peu commode à l'emploi, à cause de son état liquide, difficile et dangereuse à transporter, et produisant, en

Digitized by Google

cas d'accident, des phénomènes de destruction d'une intensité exceptionnelle. Ces dangers ont été jugés tels, que, même en Angleterre, où, en général, on laisse beaucoup de liberté d'action aux industriels, un acte du Parlement en a interdit le transport, et n'a permis de l'employer qu'à la condition de la fabriquer sur place.

C'est pour éviter ces divers inconvénients, qu'à la nitro-glycérine M. Nôbel a proposé de substituer la *dynamite*, ou, pour parler plus exactement, les *dynamites*, qui semblent le système auquel la pratique donne aujourd'hui la préférence, à l'exclusion de plus en plus complète du pyroxyle et de la nitro-glycérine liquide.

(**129**) On désigne sous ce nom générique de dynamite des mélanges plus ou moins intimes de nitro-glycérine avec une substance solide d'une *nature chimique quelconque*, assez poreuse pour absorber une proportion convenable de nitro-glycérine et pour l'y retenir, de manière qu'il n'y ait pas à craindre son exsudation pendant le transport et pendant sa conservation en barils ou en cartouches, lors même qu'une certaine pression viendrait à être exercée à la surface.

On conçoit que la nitro-glycérine ainsi *emmagasinée*, en quelque sorte, dans les pores d'une matière inerte, soit soustraite à l'effet de chocs d'une certaine intensité, et puisse être transportée et maniée avec une certaine sécurité.

La dynamite agit selon le poids de nitro-glycérine qu'elle contient sous un volume donné, et il faut par conséquent que la matière inerte jouisse d'un pouvoir absorbant aussi élevé que possible. Il convient aussi qu'elle soit d'une faible densité et d'une faible capacité pour la chaleur, afin que sous un volume donné la matière présente le moins de vide possible, et afin que la substance inerte ne diminue pas trop la température des gaz au moment de l'explosion. On a indiqué, pour le mélange, une foule de matières ; les unes sont inertes, telles que la silice poreuse, facile à réduire en poudre, d'une apparence farineuse plus ou moins analogue à la meulière, le tripoli, l'alumine, le kaolin, etc. ; d'autres, telles que le coke ou la houille pulvérisés, le sucre et autres matières riches en carbone, jouent un certain rôle actif, en utilisant la petite quan-

Digitized by Google

tité d'oxygène en excès qui résulte de l'explosion de la nitro-glycérine, outre les produits ordinaires de la combustion complète d'une matière organique (l'eau, l'acide carbonique et l'azote).

On peut ajouter enfin une certaine proportion d'une autre matière explosive, telle que la poudre ordinaire ou le pyroxyle, de manière à obtenir un mélange des deux matières qui participe, plus ou moins, des propriétés caractéristiques de l'une et de l'autre; telle est, par exemple, la *dualine*, où la matière absorbante est la sciure de bois saturée de nitrate de potasse, et transformée en pyroxyle par un traitement à l'acide nitrique.

Le plus ordinairement, on s'en tient à la silice, et l'on fait deux ou trois numéros de produits : le n° 1 contient jusqu'à 72 ou 75 pour 100 de nitro-glycérine, les deux autres une proportion plus faible. Ces derniers peuvent remplacer la poudre ordinaire avec avantage. En France, la régie des contributions indirectes vend ces trois numéros aux prix respectifs de 9 fr. 50 c., 6 fr. 50 c. et 4 fr. 50 c. le kilogramme, tandis que la poudre de mine ne coûte que 2 fr. 25 c.

La dynamite a été soumise aux essais les plus variés, d'où il résulte qu'à la condition de ne pas y introduire un excès de nitro-glycérine, afin de n'avoir aucune exsudation qui en mette une partie en liberté, aucune des circonstances qui semblent pouvoir se présenter, dans le transport et dans le maniement de cette matière, ne pourra déterminer une explosion. La matière doit être considérée *comme à l'abri de tout danger*, toutes les fois qu'elle ne sera pas chauffée à 200° dans une enveloppe résistante, ou qu'elle ne sera pas exposée à un choc aussi vif et aussi violent que celui que peuvent produire, ou la chute d'un marteau sur une enclume, ou la pénétration d'un projectile de guerre dans la masse, ou encore la détonation d'une amorce fulminante au milieu ou au voisinage de la masse ; c'est dire, en définitive, qu'elle est *moins dangereuse à manier* que la poudre ordinaire, et que, par conséquent, il n'y a aucune raison pour ne pas en autoriser la circulation, et l'application à l'industrie des mines, à laquelle elle peut rendre de très-utiles services.

Beaucoup plus forte que la poudre ordinairement employée, elle

Digitized by Google

diminue très-sensiblement le travail du mineur au rocher, soit celui du forage, en lui permettant de donner à ses trous de mine un moindre diamètre ($0^m,25$, par exemple, au lieu de $0^m,35$, ce qui réduit le travail du forage dans le rapport de 49 à 25, ou de 50 p. 100, pour un trou d'une profondeur donnée), soit celui du bourrage, qui peut être fait d'une manière plus sommaire. La seule sujétion est celle de l'allumage, qui ne peut se faire, ni par des canettes, ni par des mèches ordinaires de sûreté. Il faut que ces mèches soient introduites coiffées d'une longue capsule fulminante, qu'on place, au moment de l'emploi, sur le bout qu'on introduit dans la cartouche.

Si l'on veut combiner l'emploi de la dynamite avec la simultanéité des coups de mine dont nous avons plus haut indiqué les avantages (n° 119), on remplacera la mèche de sûreté par deux fils métalliques aboutissant à une capsule fulminante placée dans une petite cartouche remplie de dynamite, qu'on introduira dans la cartouche principale, et on emploiera, pour mettre le feu, une quelconque des dispositions indiquées plus haut.

**(130)** On peut regarder que le mineur au rocher *doit* désormais *être habitué* au travail de la dynamite.

Si l'on veut définir, de la manière la plus simple et la plus générale, le domaine de cet agent nouveau, on peut dire qu'il sera employé dans *les ouvrages à travers bancs*, et cela avec d'autant plus d'avantages que les roches seront plus dures à percer et plus cassantes, qu'elles présenteront plus de délits ou de druses, et que les ouvrages seront à plus grande section ; la poudre pouvant continuer d'être employée *dans les chantiers d'abattage*, avec d'autant plus d'opportunité qu'il y aura plus d'intérêt à réduire la proportion des menus (tel serait le cas pour une exploitation d'ardoises ou de pierres de taille, pour un chantier à la houille, pour un filon dans les points très-riches en minerai massif, etc.).

En fait, on reconnaît que, même dans les pays où l'on fait un usage étendu de la dynamite, il ne semble pas que l'emploi de la poudre en ait été sensiblement diminué.

**(131)** Ce qui vient d'être dit (n°s 112 et suivants) renferme la

Digitized by Google

description des procédés que le mineur emploie dans la plupart de ses travaux d'abattage, depuis les roches les plus ébouleuses jusqu'aux plus dures qu'il rencontre habituellement. Il en est bien peu, *si même il en existe*, dont la dureté soit telle, qu'elles ne puissent être aujourd'hui victorieusement attaquées *par des coups de mine de petit diamètre, exécutés avec des burins en acier et chargés avec de la dynamite.*

Dans le cas cependant où la circonstance se présenterait, il resterait un dernier moyen d'entaillement, consistant à *étonner* d'abord la roche à l'aide du feu, et à l'attaquer ensuite par les moyens d'abattage ordinaires. L'action d'un feu vif sur une paroi de rocher tend à produire une sorte de décrépitation, qui est due, à la fois, à la vaporisation de l'eau de carrière qu'elle peut contenir, et à la volatilisation de certaines matières, telles que le soufre provenant de la décomposition des minerais contenus dans la masse, mais surtout à la faible conductibilité de cette masse, qui amène des fendillements, par la même cause qui produit, dans une lampe, la rupture d'un verre d'épaisseur trop inégale ou trop forte et mal recuit.

Le procédé du feu n'est plus employé qu'à titre d'exception, dans quelques localités d'Allemagne où le bois est encore abondant et à bas prix. Il est très-certainement appelé à disparaître, et il n'est pas en France une seule localité où l'emploi pût en être recommandé, du moins sous sa forme habituelle.

La figure 121, empruntée à un ouvrage ancien (celui de Delius), montre quelles dispositions on peut donner aux bûchers, pour exhausser, ou pour élargir dans le sens horizontal, un chantier d'abattage. On peut également faire une cheminée montante, en élevant le bûcher sur un massif de remblai occupant l'axe de la cheminée, et donnant ainsi un accès à l'air frais et une issue aux produits de la combustion (*fig.* 122).

On met ordinairement ces bûchers en feu dans la matinée du samedi, en commençant l'allumage par ceux des étages supérieurs. On laisse la mine abandonnée jusqu'au lundi, et on y rentre pour compléter le travail de l'abattage ébauché par le feu, faire tous les travaux d'entretien et préparer de nouveaux bûchers pour le samedi suivant.

Je pense que dans le cas *tout à fait exceptionnel* où il y aurait

Digitized by Google

lieu, chez nous, d'appliquer le procédé d'abattage par le feu, pour faire un percement donné, on devrait remplacer l'emploi du bois par celui de la houille. On pourrait utiliser un appareil portatif analogue à celui qu'on emploie, à défaut de gaz d'éclairage, dans le procédé imaginé par M. de Lapparent pour la conservation des bois (Voir chapitre VII).

On obtiendrait ainsi une sorte d'effet de chalumeau, beaucoup plus localisé, mais aussi beaucoup plus efficace, comme semblent l'indiquer diverses expériences en petit faites par M. Daubrée.

(**132**) Le procédé d'entaillement par l'eau est employé dans deux cas : celui de roches ébouleuses, ou affouillables, et celui de roches solubles.

Dans le premier cas, lorsque les localités s'y prêtent, c'est-à-dire lorsqu'il y a des différences de niveau convenables et que l'eau est abondante, son action peut venir très-largement en aide au travail de la pioche.

C'est ainsi que, dans la Nouvelle-Grenade, on fait des travaux de déblai considérables, sur des roches porphyriques aurifères très-décomposées. On dévie un cours d'eau pour le faire arriver au sommet d'un escarpement le long duquel on le fait couler, les hommes venant en aide, à l'aide de leviers, au travail de désagrégation que produit l'eau dans sa chute. Les matières entraînées se rendent dans des canaux disposés en vue d'y retenir le mieux possible les parcelles d'or.

Des travaux du même genre ont été installés, sur la plus grande échelle, dans les districts aurifères de la Californie. On peut y trouver une grande économie de main-d'œuvre, et travailler ainsi sur des masses, avec un nombre restreint de bras.

On peut encore indiquer l'eau comme agissant par sa dilatation lorsqu'elle se congèle ; ou bien comme agissant pour gonfler certains corps, tels que le bois, lorsqu'ils s'en imprègnent. Le premier moyen est employé, paraît-il, dans des carrières de granite à ciel ouvert des environs de Boston (Massachussets), pour faire éclater des trous de mine qu'on remplit d'eau, et qu'on bouche ensuite avec une forte cheville.

Digitized by Google

Le second moyen peut servir à faire éclater les pierres, telles que les meulières, que l'on veut obtenir en fragments bien réguliers. On trace à la pointe une rainure dans laquelle on chasse à refus des coins de bois bien secs, que l'on arrose d'eau pendant qu'ils sont en serrage.

Enfin M. Guibal a proposé l'emploi de l'eau pour remplacer la poudre dans les coups de mine. Les cartouches, dites *cartouches hydrauliques*, employées à cet effet, se composent d'un sac en caoutchouc, maintenu entre deux viroles, dans l'intérieur duquel on comprime l'eau à l'aide d'une vis de pression (*fig.* 123) ; la cartouche se gonfle et se moule sur les parois, qu'elle soumet à une pression énergique. Ce procédé, qui supprime tout danger pour l'ouvrier, est applicable dans les chantiers où la présence du grisou ne permet pas l'emploi de la poudre.

Ces divers procédés, comparés à l'emploi de la poudre, reviennent à substituer *une pression* à un choc. C'est comme si l'on employait une poudre extrêmement lente (voir n° 122).

(**133**) Appliquée aux roches solubles, c'est-à-dire au sel gemme, l'eau peut être considérée de deux manières : soit pour préparer simplement l'abattage au pic ou à la poudre, en faisant un travail préliminaire de sous-cave ou d'entaille; soit pour abattre la masse entière en la dissolvant.

Le premier cas s'appliquera avec avantage, lorsque la masse du gite sera *assez pure* pour être utilisée en nature pour les besoins de l'agriculture ou dans les fabriques de produits chimiques ; *assez impure* cependant pour exiger que la partie destinée à la consommation domestique soit raffinée. Si l'on exploitait tout à l'état solide, une partie arrivée au jour devrait être dissoute; il est plus simple de la dissoudre sur place et de l'élever au jour par des pompes, puisqu'en même temps on facilite, par cette dissolution, l'abattage du reste.

Lorsque la masse du gite est tellement mêlée d'argile qu'on trouve que rien ne peut être utilisé en nature, on peut la dissoudre tout entière sur place, suivant diverses dispositions sur lesquelles on aura à revenir, en parlant des méthodes d'exploitation.

Digitized by Google

On se bornera, quant à présent, à remarquer que l'emploi de l'eau peut se faire non-seulement dans les chantiers d'abattage, mais encore dans les travaux préparatoires, tels que puits ou cheminées faits à travers le gîte.

On exécutera une cheminée de bas en haut, en posant dans son axe un tuyau vertical, donnant un jet d'eau ascendant, qu'on prolongera successivement.

On exécutera un puits, en y faisant arriver un jet descendant, qui trouvera son écoulement par un trou de sonde préalablement foré jusqu'à un niveau inférieur, par où l'eau trouvera à s'échapper (*fig.* 124).

Ces travaux peuvent être menés plus ou moins vite, selon qu'on fait agir l'eau avec plus ou moins d'abondance sur un point donné; mais comme il convient habituellement d'obtenir l'eau rapprochée du point de saturation, l'avancement des ouvrages est assez lent comparativement à ce qu'il pourrait être par les procédés manuels ordinaires, et il faut que l'étendue du champ d'exploitation soit augmentée en conséquence, afin de compenser, par le nombre des chantiers, la faible production de chacun d'eux.

### § 3. — Applications et données numériques diverses.

(**134**) Nous avons à compléter ce qui a été dit, d'une manière générale, dans le paragraphe précédent, en considérant quelques cas particuliers, qui peuvent comporter certains détails spéciaux.

**Exemple d'un chantier à ciel ouvert.** — Quoique l'exploitation d'une mine se fasse habituellement par travaux souterrains, on a aussi quelquefois des travaux à ciel ouvert, soit si le gîte affleure, soit s'il se trouve recouvert par une petite épaisseur de terrain. Le chantier peut avoir pour objet, soit le travail du découvert, soit l'exploitation du gîte lui-même.

Dans tous les cas, le front de l'ouvrage doit être aussi étendu que possible, et présenter la forme d'une série de gradins droits, afin qu'à chaque instant, la masse de rocher, actuellement *en cours d'abattage*, soit détachée sur deux faces.

Digitized by Google

Lorsque le terrain est stratifié, le dessus de chaque gradin est un plan de stratification. La surface peut donc être horizontale, ou inclinée en montant ou en descendant. La hauteur des gradins dépend non-seulement de la nature des terrains, mais encore du sens et de la grandeur de cette inclinaison. Le plus habituellement, avec une stratification sensiblement horizontale, une hauteur verticale de $1^m,50$ à 3 mètres est bien appropriée, quelle que soit la dureté de la roche. On peut faire cependant des abattages plus considérables ; on va au double, ou au triple des chiffres ci-dessus ; on a même été jusqu'à 15 ou 16 mètres.

Mais des dimensions excessives peuvent donner lieu à des dangers pour les ouvriers. Elles n'ont pas d'ailleurs autant d'avantage qu'on pourrait être porté à le croire, soit que l'on considère des roches ébouleuses, dont les grands abattages n'augmentent pas les facilités de chargement, soit que l'on considère des roches dures, qui ne tomberont qu'en blocs immenses, sur lesquels il faudra faire ultérieurement un travail de débit à coups de mine, moins commode que celui qu'on aurait fait immédiatement, sur un chantier présentant une série de gradins de hauteur réduite.

On peut donc dire que ces très-grands gradins ne conviennent que pour des terrains qui ont en place assez de consistance, et qui sont, en même temps, assez délités pour que, dans un grand abattage, la majeure partie de la masse qui s'effondre tombe en blocs de dimensions maniables.

Tels pourraient être, par exemple, des terrains présentant une succession de petits bancs alternativement durs et tendres, comme des calcaires et des marnes, des grès et des schistes, etc.

Dans un cas semblable, le travail du sous-chevage pourra consister en une série de petites galeries de 4 ou 5 mètres de longueur, poussées perpendiculairement au front de taille, et reliées l'une à l'autre par une galerie parallèle à ce même front, réservant ainsi des piliers *tournés* de 2 à 3 mètres de côté, soutenant un massif qui a pour longueur la largeur du chantier, pour épaisseur la longueur des petites galeries, et pour hauteur celle du gradin. On en fera la tombée en sous-cavant les divers piliers, autant que la prudence le permettra, et produisant enfin l'effondrement, au moyen de forts

Digitized by Google

coups de mine ayant leur chambre dans l'axe de chaque pilier et à une petite distance au-dessus du sol.

On fera partir ces coups de mine, ou à la manière ordinaire, ou simultanément à l'aide de l'électricité.

Le système indiqué est représenté en coupes verticale et horizontate, et en élévation, dans les figures 125.

**(135) Exemple d'une galerie à travers bancs en roche dure.** — Une galerie ordinaire de mines recevra une hauteur comprise entre $1^m,80$ et $2^m,50$, et une largeur comprise entre $1^m,30$ et $2^m,50$, soit par exemple, 2 mètres de largeur, avec pied-droit de 1 mètre de hauteur, surmontée d'une voûte en plein-cintre (*fig.* 82). Cette forme donne une section d'environ 3,5 mètres carrés, et un égal nombre de mètres cubes par mètre courant.

L'avancement présente habituellement un profil tel que ABCD, qui se déplace parallèlement à lui-même, et devient A'B'C'D'.

La ligne AB est transportée en A'B', au moyen de coups de mine, tels que 1, 2, 3, tirés dans l'ordre des numéros.

Le gradin BCD, qu'on nomme aussi le stross, ou le rebanché, s'enlève en arrière, soit par des coups droits suivant C'D', soit par des coups horizontaux suivant DD'.

Le profil ABCD a pour but d'obéir au principe de travailler toujours avec un rocher aussi dégagé que possible. Il permet d'ailleurs d'accélérer le percement, les hommes pouvant travailler, à la fois, sans se gêner, à l'avancement et au stross. Il est entendu que le profil ABCD a été figuré dans l'hypothèse d'une masse homogène ne présentant pas de délits dans un sens déterminé. Mais il faut concevoir, et cette remarque s'applique à tous les travaux d'abattage, que le mineur doit avoir égard à la présence de ces délits ou clivages, pour y faire des sous-caves facilitant l'action de ses coups de mine.

Lorsqu'on emploie la dynamite, le travail est souvent poussé avec moins d'attention et de méthode, quant au placement des coups de mine.

Le front de taille est ordinairement rectiligne sur toute la hauteur, et on se borne, pour l'avancer, à faire une série de coups de

Digitized by Google

mine *parallèles à l'axe*, qui deviennent chacun l'axe d'autant d'entonnoirs coniques, dont les bases juxtaposées occupent la plus grande partie de la section (*fig.* 127).

En supposant que l'on donne aux trous de mine le tiers de la largeur de la galerie, soit $0^m,67$ et qu'on charge avec des cartouches de $0^m,12$ à $0^m,16$, la roche sera broyée en arrière de ces trous jusqu'à $0^m,80$, et l'on pourra, à l'aide de pics et de pinces, et au besoin en s'aidant de quelques petits coups de mine, obtenir un nouveau front de taille affranchi, à $0^m,80$ du premier.

Si au lieu d'avoir à exécuter une galerie de mine à section ordinaire, on a un tunnel à grande section, comme pour un canal de navigation ou pour une ligne de chemin de fer, l'avancement se poursuit au cerveau de la voûte, avec une galerie à laquelle on pourra donner une section de 5 ou 6 mètres carrés, et qu'on mènera aussi activement que possible.

En arrière, on *bat au large*, à droite et à gauche, pour amener l'ouvrage à la largeur voulue ; puis on l'amène à hauteur au moyen de deux ou trois gradins droits ; de cette manière, on peut multiplier les chantiers, et pousser une galerie à grande section, aussi vite qu'une galerie de mines à petite section. La figure 128 indique dans quel ordre sont enlevées les diverses parties de la section totale de la grande galerie.

(**136**) **Exemple d'un puits de mine.** — Les puits verticaux peuvent recevoir des formes et des sections très-différentes, sur lesquelles on aura lieu de revenir.

Nous supposerons qu'il s'agisse d'un grand puits destiné à un service multiple d'extraction et d'épuisement, devant être sans revêtement dans les parties solides, et muraillé dans les autres parties.

On lui donnera, très-convenablement, une section circulaire *d'un diamètre utile* de 4 mètres, soit 5 mètres environ dans les parties à murailler, ou 19 à 20 mètres carrés de section.

Le travail s'exécute au moyen de coups de fond vers le centre de l'excavation, de manière à y faire une sorte de puisard ; on élargit successivement ce puisard par des coups de mine, d'autant plus droits qu'on se rapproche davantage des parois. On a soin de com-

Digitized by Google

biner les coups de fond et les coups droits, de manière que la forme du puisard reste toujours accusée, afin d'y ramener les eaux.

Les coups de fond (1) de la figure 129 pourraient être remplacés par un gros trou central, chargé à la dynamite.

(137). **Exemple d'un grand chantier d'abattage, ou d'une grande taille dans une couche mince de houille.** — Nous supposons qu'il s'agisse d'une couche mince, analogue à celles de la Belgique et du nord de la France. La couche n'est pas, en général, en contact avec des assises de grès durs, mais, le plus souvent, avec des couches schisteuses ou avec des grès fins et micacés. Souvent aussi au contact même du toit, et plus souvent à celui du mur, il existe un lit d'argile grasse noire, qui sert pour le havage. La masse de la couche se subdivise, sur sa hauteur, en plusieurs lits distincts, différents par la dureté et par la proportion de gros qu'ils donnent à l'abattage. Ces lits, ou sillons, sont directement superposés, ou séparés par des nerfs de schiste ou de grès schisteux. Ils forment dans la houille des joints de facile division.

Il arrive, en outre, fréquemment que la masse est divisée par des plans perpendiculaires à la couche, et qui conservent entre eux une orientation constante dans toute l'étendue d'une mine ; quelquefois même il existe deux systèmes de plans semblables, et chaque morceau de houille offre alors une forme parallélipipédique remarquable, due au joint de stratification et à une sorte de clivage dans deux sens perpendiculaires à ce joint.

Ces diverses circonstances sont mises à profit par le mineur pour l'abattage.

En principe, et en ne considérant les choses qu'au point de vue du travail du mineur, le chantier d'abattage, auquel on donne le nom de taille, doit être poussé aussi large que possible, et son front doit être parallèle au clivage principal de la houille.

On a des tailles de 10, 15, 20, 30 mètres et plus de largeur. On en a même, en Angleterre, qui ont plusieurs centaines de mètres.

Le long de ces tailles sont distribués les ouvriers mineurs, ayant chacun une largeur déterminée à abattre. Ils font le travail de la sous-cave, en maintenant provisoirement la masse, soit par des cales



Digitized by Google

en bois, soit par des buttes inclinées, soit par de petits tasseaux de houille qu'ils n'enlèvent qu'au dernier moment. Les ouvriers des extrémités de la taille font les entailles latérales, ou *rouillures;* enfin on fait la tombée avec des coins, ou avec quelques petits coups de mine, ou, si la présence du grisou ne le permet pas, avec les aiguilles décrites au n° 114 (*fig.* 111).

Si les circonstances demandent que le chantier avance dans une direction oblique sur le sens du clivage, on peut mener le front parallèle au clivage et oblique sur la direction (*fig.* 130).

Il y a une différence essentielle, sous le rapport de la facilité de l'abattage, et aussi, jusqu'à un certain point, dans la proportion de gros, entre les chantiers dont le front est *parallèle* et ceux dont le front est *perpendiculaire au clivage.*

Aussi, quand on découpe un champ d'exploitation en piliers par deux systèmes de galeries rectangulaires, il arrive souvent qu'on fait une distinction entre ces deux systèmes : les galeries les plus importantes par leur nombre ou par leur étendue ont leur front parallèle au clivage, les autres étant de simples recoupes pour l'aérage.

L'aspect du front de taille est très-différent dans les deux cas. Dans le premier, la houille en place se présente avec de larges faces planes miroitantes; dans le second, avec une structure grenue.

(**138**) **Exemple d'un chantier d'abattage dans une couche de houille puissante.** — Il arrive souvent que, dans une couche *puissante* (j'entends par là une couche d'une épaisseur sensiblement supérieure à la hauteur ordinaire des galeries de mines, laquelle ne dépasse guère $2^m,00$ à $2^m,50$), les galeries de traçage se font seulement dans les bancs inférieurs de la couche, en laissant en couronne les bancs supérieurs, qu'on se réserve de *rabattre*, en même temps que l'on dépilera les massifs réservés d'abord entre les galeries.

Ces galeries de traçage se mènent comme les chantiers dont il vient d'être parlé, et n'en diffèrent que par leur largeur, qui est moindre, et la hauteur, qui est plus grande. On leur donnera de

Digitized by Google

2 à 5 mètres de largeur, selon la dureté du charbon et la solidité du toit, et selon la durée que leur assigne le système d'exploitation qu'on se propose de suivre.

La hauteur, d'*environ* 2 mètres, dépendra de l'épaisseur des bancs ; car on prendra pour toit un délit existant entre deux de ces bancs, augmentant ou diminuant un peu la hauteur, selon qu'il le faut pour s'arrêter à un banc solide.

D'autres fois, on juge préférable de prendre la galerie sur toute la hauteur de la couche, et alors on peut procéder de deux manières essentiellement distinctes : ou bien mener le chantier par une série de *gradins droits* (*fig.* 131), en commençant par les bancs voisins du toit, ou bien le mener en *gradins renversés*, en commençant par les bancs voisins du mur et rabattant successivement les bancs supérieurs (*fig.* 132).

Entre ces deux manières d'agir, la première est éminemment préférable, au point de vue de la sécurité des ouvriers. On peut, en effet, en commençant par la partie supérieure, faire tomber de suite, s'il y a lieu, le schiste peu solide, ou faux toit, qui existe souvent directement au-dessus de la couche, et avoir de suite un bon toit pour le chantier. La subdivision en gradins droits peut se faire, en ayant égard à la position des nerfs intercalés dans la couche, de manière à faciliter le travail du triage. On peut facilement augmenter, à mesure que l'on descend, la largeur des gradins, de manière à donner une sorte de section ogivale, qui correspond, pour une largeur moyenne donnée au chantier, à un minimum de fatigue pour la roche du toit.

Dans l'ouvrage à gradins renversés, l'ouvrier travaille sous des roches *dont il cherche à provoquer la chute*, et qui par conséquent *menacent à chaque instant sa sûreté*, malgré les étais provisoires avec lesquels il les soutient ; ces roches tombent par blocs immenses, en se brisant, et formant une masse confuse dans laquelle il faut venir trier les gros morceaux de houille, en laissant une partie du menu enfouie au milieu des matières stériles provenant des nerfs qui sont tombés avec le charbon ou par-dessus lui. Il y a donc danger pour les ouvriers, bris de charbon et gaspillage d'une partie plus ou moins importante du menu.

Digitized by Google

Le seul avantage à opposer à ces inconvénients paraît être une économie de main-d'œuvre obtenue dans l'abattage, en rapportant la dépense à la quantité de gros obtenu, et considérant le menu comme étant sans valeur.

Mais il me paraît bien que le temps est passé, même dans les pays les plus riches en houille, où les menus pouvaient être considérés comme de nulle valeur. On ne verra plus, comme cela s'est fait si longtemps à Newcastle, les exploitants mettre le feu à des tas de menu, regardés comme une matière inutile et encombrante dont on cherchait à se débarrasser. Avec la valeur croissante du combustible, avec les moyens variés qu'on a d'utiliser les menus les plus divers, soit en nature, soit sous forme de coke ou sous forme d'agglomères, avec les voies de transport qui se créent journellement, on doit regarder comme suranné et inacceptable tout mode de travail qui ne permet pas l'enlèvement aussi complet que possible de la masse abattue.

Nous reviendrons sur ce point important, en parlant des méthodes d'exploitation.

(**139**) **Exemple d'une galerie d'allongement poussée dans un filon.** — Une galerie en direction poussée dans un filon pourrait être conduite comme une galerie à travers bancs, si le filon avait une dureté analogue à celle de la roche encaissante, s'il y était fortement adhérent, et si le minerai était assez uniformément disséminé dans les gangues, pour que *deux fragments quelconques de petite dimension* pussent être considérés comme *ayant la même composition moyenne.*

Mais ce n'est pas ainsi qu'il faut procéder habituellement, soit pour tirer parti des circonstances qui peuvent faciliter l'abattage, soit pour ménager le minerai. On doit profiter de la présence des salbandes, pour faire l'équivalent d'une sorte de sous-cave, ce qu'on appelle *dépouiller le filon ;* puis procéder à l'abattage du filon ainsi dépouillé, au moyen de pics à rocher ou de leviers, ou avec de petits coups de mine placés de manière à faire tomber les masses riches en minerai en les entamant le moins possible. Les précautions à prendre doivent être d'autant plus grandes que le minerai

Digitized by Google

est plus précieux et plus friable. A la limite, l'avancement de la galerie se fait en quelque sorte dans la roche encaissante, ou *en dehors du gîte*. On laisse ainsi le filon intact sur une des parois, et on le prend à loisir en arrière du front de taille, le débitant, pour ainsi dire, sur place, avec des précautions analogues à celles qui viennent d'être indiquées, au numéro précédent, pour l'abattage de la houille.

(**140**) Les divers exemples ci-dessus (nos 134 à 139) suffiront pour donner une idée générale de la manière dont sont conduits les travaux d'abattage, dans les diverses circonstances qui peuvent se présenter. Un premier principe général est toujours de présenter, autant que le permettent la forme et les dimensions de l'ouvrage, la masse à abattre détachée sur autant de faces que possible. Un autre principe, fort important à observer, est de conduire le travail de manière à ménager la matière, qui a généralement, ainsi qu'on l'a déjà dit, plus de valeur marchande, ou qui est plus avantageuse à élaborer à l'état de morceaux qu'à l'état de menu.

Le premier principe s'applique pour faciliter le travail de l'ouvrier, et augmenter ainsi l'avancement, ou la *quantité* de matière abattue. Le second principe considère essentiellement la *qualité* de cette matière; mais il est habituellement, en même temps, favorable à la quantité. D'ailleurs, dans l'un comme dans l'autre cas, les ouvriers doivent être intéressés au résultat obtenu, et le travail à *la journée* n'est pas admissible pour des travaux de ce genre. On mettra donc les ouvriers à prix fait, soit au mètre courant d'avancement, soit au mètre carré d'entaille, soit à l'hectolitre ou à la tonne de matière utile obtenue, en fixant un prix pour le gros et un prix moindre pour le menu ; si on veut les stimuler encore davantage, on fixera un prix pour *telle* quantité minima *obtenue dans une quinzaine*, avec un prix plus élevé, et rapidement croissant, pour les quantités supplémentaires obtenues, etc., etc.

Pour les travaux pressés, le travail se continuera de jour et de nuit, les ouvriers se relayant au chantier, ou, comme on dit, *les outils en main*. Ils peuvent être à 2 postes de 12 heures, ou à 3 postes de 8 heures. Quelquefois, surtout dans les puits où il pleut beau-

Digitized by Google

coup, la durée du poste n'est que de 6, ou même de 4 heures.

On peut considérer qu'avec de bons ouvriers le travail à 8 heures n'est pas plus cher que le travail à 12 heures, un ouvrier donnant, en huit heures *bien employées*, tout ce qu'il peut produire d'effet utile journalier. On peut ainsi, sans supplément de frais, augmenter de 50 pour 100 l'avancement qu'on obtiendrait avec des postes de 12 heures.

Dans un travail au rocher, on doit faire les mesurages, qui servent à établir les comptes de quinzaine ou mensuels, à partir d'un point constant, en ne mesurant que les longueurs *affranchies*, c'est-à-dire amenées aux formes et dimensions définitives, et ayant leur sole à la cote de hauteur convenable.

On doit tenir en effet, à ce que l'ouvrage conserve exactement ses dimensions, son orientation et son inclinaison ; et cela ne laisse pas que de demander une surveillance assidue, à cause de la tendance qu'ont les ouvriers à rétrécir leur chantier, à trop monter, ou à se dévier dans le sens où ils rencontrent le moins de difficultés. Les dimensions se constatent par une mesure immédiate. La verticalité d'un puits est donnée par des fils à plomb, placés sur le pourtour de l'orifice en des points convenables. L'orientation d'une galerie est donnée au moyen de deux fils à plomb, fixés à des chevilles placées au toit dans l'axe de la galerie. Une lampe, placée à l'avancement et au milieu de la largeur de la galerie, doit être toujours dans le plan de ces deux fils. Pour conserver l'inclinaison, le niveau est déterminé, en un point, par une cheville arasée à une hauteur donnée, sur laquelle les mineurs doivent se régler pour marcher de niveau, jusqu'à ce qu'on leur en place une autre.

Dans tout travail, on doit tâcher de simplifier l'objet du prix à forfait, en ne donnant, par exemple, que *l'avancement* même de chantier, et réservant à d'autres ouvriers l'enlèvement des déblais, les travaux de soutènement à faire en arrière, la pose des voies, etc.

Cela peut être *moins commode*, en ce qu'on a besoin d'une plus grande surveillance pour faire marcher ces divers travaux en concordance convenable ; mais on a les avantages qui résultent de la division du travail, et on n'emploie pas, à des *travaux de manœuvre*, des ouvriers dont *la spécialité* comporte une rémunération supérieure.

Digitized by Google

Nous reviendrons sur cette question générale de l'organisation du travail dans une mine.

(**141**) Nous ajouterons seulement, pour terminer, quelques indications numériques, au moyen desquelles on pourra se faire, *a priori*, un aperçu du coût des différents ouvrages que l'on aurait à faire exécuter dans des terrains donnés.

Nous supposons d'abord qu'il s'agisse d'une galerie à travers bancs, d'environ $3^m,50$ carrés de section, la journée des ouvriers ressortant à 4 francs, et le kilogramme de poudre à 2 fr. 50 c.

Le nombre des journées et le poids de poudre à dépenser par mètre courant, le prix de revient du mètre courant de galerie, celui du mètre cube de vide, et l'avancement mensuel obtenu, en marchant à 2 postes et comptant 25 jours de travail par mois, sont donnés dans le tableau suivant, pour différentes natures de roches.

| NATURE DES ROCHES | NOMBRE DE JOURNÉES | POIDS DE POUDRE | PRIX DE REVIENT | | AVANCEMENT MENSUEL |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | DU MÈTRE COURANT | DU MÈTRE CUBE | |
| Roches récalcitrantes exceptionnelles, ou du 1er ordre de dureté. . . . . | 50 | $12^k$ | $236^f$ | $67^f$ | $2^m$ |
| Roches de 1er ordre, granite dur et quartzeux. . . . | 20 à 30 | 8 à 10 | 120 à 145 | 34 à 41 | $3^m33$ à $5^m$ |
| Roches de 1er ordre, avancement dans des filons très-durs et très-quartzeux. | 24 | $3^k5$ | 104.75 | 30 | 4 |
| Roches de 2me ordre, terrain houiller très-dur, grès et poudingue. . . . | 15 à 20 | 4 à 8 | 70 à 100 | 20 à 28.5 | 5 à 6.67 |
| Roches de 2me ordre, terrain houiller assez dur, granite ordinaire. . . . . | 10 à 15 | 3 à 4 | 47.50 à 70 | 13.50 à 20 | 6.67 à 10 |

Digitized by Google

| NATURE DES ROCHES | NOMBRE DE JOURNÉES | POIDS DE POUDRE | PRIX DE REVIENT | | AVANCEMENT MENSUEL |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | DU MÈTRE COURANT | DU MÈTRE CUBE | |
| Roches de 5me ordre, terrain houiller ordinaire. Schiste argileux ou micacé tendre. . . . . | 7 à 10 | 1k5 à 3 | 31.75 à 47.50 | 9 à 13.50 | 10 à 14 |
| Roches de 3me ordre, terrain houiller facile. . . . . | 4 à 6 | 1 à 1k5 | 18.50 à 27.75 | 5.20 à 8 | 15 à 25 |
| Roches de 4me ordre, chantier à la houille (6me carrés de section). . . . . | 2 à 4 | 0 à 0k3 | 8 à 16.75 | 1.33 à 2.80 | 25 à 50 |

(**142**) En examinant attentivement le tableau ci-dessus, on voit que si l'on voulait caractériser par des valeurs moyennes, chacun des quatre 4 premiers degrés de dureté, on pourrait résumer les résultats de ce tableau, en nombres ronds, en disant que le prix moyen de l'avancement et l'avancement mensuel seraient respectivement :

Pour les roches de 1re dureté. . . . . 140f et 4m
Pour les roches de 2e dureté. . . . . 70 et 8
Pour les roches de 3e dureté, ou traitables.. . . 35 et 16
Pour les roches de 4e dureté, ou tendres. . . . 12 et 40

Tels sont les nombres qui pourraient servir de *premier point de départ*, pour débattre un prix fait avec les ouvriers. Avec une section de 3m,50 pour les trois premiers cas, et de 6 mètres pour le quatrième, ces nombres font ressortir le mètre cube respectivement à 40, 20, 10 et 2 francs.

Il est dans la nature des choses que les résultats ci-dessus soient compris entre des limites fort éloignées. L'expérience enseigne à l'ingénieur à apprécier, en examinant attentivement un terrain et en le faisant travailler devant lui, dans quelle catégorie il peut être rangé; mais c'est seulement la pratique *des hommes et des choses de la localité*, qui peut le mettre en mesure d'apporter une certaine précision dans son estimation.

Digitized by Google

(**143**) Connaissant, ou appréciant le prix du mètre courant de galerie horizontale à petite section, dans un terrain donné, on en déduit le prix du mètre cube de vide, et de ce dernier prix on peut conclure le prix d'une autre excavation, de formes et de dimensions données, en employant les coefficients, ou *modules de transition* suivants :

| | |
|---|---|
| Pour une section de 10 à 20 mètres carrés au lieu de $3^m,50$. | $\frac{1}{2}$ à $\frac{3}{4}$ |
| Pour une très-grande section de 36 mètres carrés, dont 12 à l'avancement et au battage au large et 24 au rebanché, à l'avancement. . . . . | $\frac{1}{2}$ à $\frac{3}{4}$ |
| Id. au rebanché. . . . . | $\frac{1}{3}$ |
| Pour un grand ouvrage à gradius à ciel ouvert. . . . . | $\frac{1}{4}$ |
| Pour un ouvrage fait en cheminée montante. . . . . | $1\frac{1}{2}$ |
| Pour un fonçage, selon que l'on est plus ou moins gêné par les eaux. . . . . | $1\frac{1}{2}$ à 2 |
| Pour un travail en gradins dans un filon, dans le cas d'un filon mince . . . . . | $\frac{2}{3}$ à $\frac{3}{4}$ |
| Id. d'un filon moyen. . . . . | $\frac{1}{2}$ |
| Id. d'un filon puissant. . . . . | $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ |

Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'un puits dans un terrain présentant, tantôt des roches de deuxième classe, à creuser sur un diamètre de 4 mètres, sans muraillement, et tantôt des roches de troisième classe à murailler, demandant d'être excavées au diamètre de 5 mètres. — Supposons les premières à 20 francs et les secondes à 10 francs le mètre cube, en galeries étroites.

Le puits creusé à 4 mètres de diamètre a une section de $12^m,57$.

Appliquant les valeurs les plus élevées des coefficients ci-dessus, le prix du mètre courant sera d'abord $20 \times 12.57 \times \frac{3}{4}$, *à cause de la grande section*, et il deviendra $20 \times 12.57 \times \frac{3}{4} \times 2 = 377$ francs, *à cause de la sujétion qui resulte du fonçage et de la présence des eaux.*

Dans les parties à murailler, la section sera d'environ 20 mètres, et le prix du mètre courant sera, en raisonnant comme ci-dessus, $10 \times 20 \times \frac{3}{4} \times 2 = 300$ francs.

Digitized by Google

Ces chiffres, 377 francs et 300 francs, représentent *le travail des mineurs seulement*, le service du sortage étant supposé à la charge de l'exploitant. On les diminuerait d'un quart, et ils deviendraient respectivement 283 francs et 225 francs, si l'on était très-peu gêné par les eaux pendant le travail du fonçage.

Supposons, comme second exemple, une galerie à grande section de 36 mètres carrés, dans un rocher de deuxième classe, ou à 20 francs le mètre cube en petite galerie.

On aura :

Pour l'avancement et le battage au large $20 \times 12 \times \frac{3}{4} = 180^f$

Et pour le rebanché. . . . . $20 \times 24 \times \frac{1}{3} = 160$

Total, pour les mineurs seulement. . . 340

On pourrait beaucoup multiplier ces exemples ; mais c'est à la pratique seule qu'il appartient de fixer *le vrai chiffre* qui convient à un *cas donné*, les valeurs indiquées ci-dessus, soit pour les diverses classes de roches, soit pour les modules de transition, n'étant que *des moyens d'arriver à une première approximation*, à rectifier par un examen spécial ultérieur.

(**144**) Ce qui vient d'être dit convient spécialement aux travers bancs et aux avancements.

Pour des chantiers d'exploitation dans un gîte donné, il serait oiseux de chercher à établir, *à priori*, une moyenne générale du prix de revient de l'abattage.

Le travail dépend en effet essentiellement des circonstances d'allure propres au gîte, de la période d'exploitation dans laquelle on se trouve (travaux préparatoires, ou exploitation proprement dite), enfin de l'organisation du travail, suivant que les ouvriers sont chargés exclusivement de l'abattage proprement dit, ou qu'ils ont, en outre, en totalité ou en partie, les travaux accessoires de triage, de chargement, de sortage, de remblai, de boisage, etc., etc.

Pour la houille, par exemple, on peut citer des exemples de mines où, par journée de piqueur, la production ne dépasse pas $0^t,5$, et d'autres où elle atteint 8 tonnes.

Digitized by Google

On est, en général, plus près de la limite inférieure que de la limite supérieure, et l'on peut bien penser qu'une production de 2t,5 à 3 tonnes est une bonne moyenne, *plutôt forte que faible*. En fixant la journée du piqueur à 4 francs y compris l'éclairage, la poudre et les outils, cela ferait ressortir le prix de revient du piquage, pour une tonne de houille *tout venant* au pied du chantier, de 1f,33 à 1f,60.

C'est un nombre qu'on doit retenir, avec cette pensée qu'on rencontrera assez souvent des exemples de chiffres *inférieurs au premier*, dans les cas favorables, comme il s'en présente en Angleterre, malgré le prix élevé de la main-d'œuvre dans ce pays, et qu'on pourra rencontrer aussi des chiffres *très-supérieurs au second*, comme c'est souvent le cas dans certaines couches minces, dressées, sans sous-caves et à mauvais toit, de la Belgique et du nord de la France.

Digitized by Google

# CHAPITRE VI

## APPLICATION DES MOYENS MÉCANIQUES A L'ABATTAGE

(**145**) Les procédés exposés dans le chapitre précédent constituent le travail courant de l'*ouvrier mineur*, proprement dit, soit *piqueur*, soit *mineur au rocher*.

Ces procédés sont ceux qu'un usage à peu près universel a consacrés. Aussi, quand le chantier où on les applique est *bien organisé*, c'est-à-dire lorsque les postes d'ouvriers qui s'y succèdent sont solidaires du résultat cherché, lorsqu'ils sont directement intéressés à ce résultat qui est, suivant les cas, ou un certain avancement à obtenir, ou une certaine quantité de matière à produire dans un certain état de pureté ou de grosseur, lorsqu'enfin ces ouvriers sont munis des outils et des matières explosibles appropriées à la nature des terrains, on peut dire que leur travail s'exécute dans les conditions techniques les plus favorables que comporte la pratique actuelle de l'art des mines.

Est-ce à dire, pour cela, que l'on doive considérer cet art comme arrivé à son apogée, et n'ayant plus à recevoir, dans la partie dont nous nous occupons, que des perfectionnements de détail, tels que ceux qui pourraient résulter, par exemple, de la substitution d'autres matières à l'acier des outils, et à la poudre ou à la dynamite des cartouches ?

Ne peut-on espérer, comme on l'a obtenu pour tant d'autres industries, arriver à épargner la force de l'homme appliquée à un

Digitized by Google

travail pénible, qui représente une partie notable de la main-d'œuvre qui se dépense dans l'intérieur des mines ?

Il y a là des questions très-importantes qui demandent un examen spécial.

(**146**) Leur importance résulte, en premier lieu, de ce fait qu'à mesure que l'exploitation des mines grandit pour suivre les besoins croissants de la consommation, le recrutement de la population ouvrière y devient plus difficile. Avec le développement inouï de la richesse matérielle et du bien-être général depuis un demi-siècle, on ne peut se dissimuler que la masse de la population ouvrière va, de plus en plus, perdant ses habitudes laborieuses et recherchant des occupations moins pénibles, dussent-elles même être un peu moins rétribuées, et qu'elle tend ainsi à s'éloigner du métier de mineur. Ce métier est, en effet, peu attrayant et assez pénible ; il est cependant moins dur en réalité qu'il ne le paraît, et il a le grand avantage d'être plus régulier, ou d'avoir moins de *morte-saison* que la plupart des autres métiers.

Quoi qu'il en soit, cette disposition de la population ouvrière, avec laquelle on est bien obligé de compter, a sa conséquence économique naturelle, l'augmentation des salaires, et, en même temps, comme corollaire à peu près inévitable, une certaine tendance des ouvriers à restreindre leur effet utile journalier, et, trop souvent, à réduire le nombre de leurs journées de travail, soit individuellement, soit collectivement en cherchant des prétextes de grèves ; de sorte que, au moment où il s'agirait d'augmenter la production, il devient difficile d'accroître la population ouvrière dans un égal rapport, et même d'obtenir simplement le maintien de la production avec une population ouvrière donnée.

Dans cet état de choses, on doit regarder comme un des premiers devoirs des exploitants, de se préoccuper très-sérieusement de cette question du recrutement de leur personnel : les moyens généraux à leur disposition sont, d'abord, d'accepter un taux de salaires convenablement en rapport avec la situation, et ensuite de chercher à s'attacher le personnel, en lui offrant, par un système d'institutions appropriées, des avantages moraux et matériels pour l'ouvrier lui-

Digitized by Google

même et pour sa famille, et en organisant les travaux intérieurs, de manière qu'il y ait place pour les jeunes gens dès qu'ils sont en âge de travailler. C'est à la fois le moyen d'améliorer la situation des familles, et de former des ouvriers pour cette industrie toute spéciale des mines, qui, presque au même degré que la marine, demande qu'on s'y habitue dès les premières années de travail.

(**147**) En second lieu, on peut remarquer que les procédés usuels d'abattage sont, *au point de vue mécanique*, très-peu satisfaisants. Ils se réduisent, en dernière analyse, à détacher des fragments de roches, soit directement par l'ouvrier à l'aide du choc de certains outils, soit indirectement à l'aide de la poudre agissant dans des excavations faites à l'aide de ces outils.

On a depuis longtemps remarqué, qu'au point de vue mécanique, la poudre, même quand elle agit avec l'expansion qu'elle prend dans les armes à feu, est un agent très-cher.

Supposant, en effet, qu'avec le tiers du poids du projectile, elle imprime à ce dernier une vitesse de 500 mètres, 1 kilogramme de poudre, supposé au prix de 2f,50, produira un nombre de kilogrammes donné par la relation

$$T_m = \frac{1^k}{2g} \times (500)^2 = \frac{250000}{19.62} = 12740 \text{ kilogrammètres.}$$

Ce n'est pas le treizième de ce que produirait, à peu près pour la même somme, un simple manœuvre agissant toute la journée sur une manivelle (*Cours de machines*, n° 39). Or ce travail utile de 12,740 kilogrammètres, est *très-supérieur assurément* à celui qui se produit dans un coup de mine, où le travail de projection est nul, ou du moins inutile, ainsi qu'on l'a dit n° 116.

On peut voir de même que l'ouvrier mineur, agissant avec ses outils ordinaires, est *dans de mauvaises conditions de travail.*

Une prompte fatigue, résulte, en effet, pour lui, de ce qu'il est généralement placé au chantier dans une position peu commode, souvent même très-incommode ; de ce qu'il a habituellement, sans profit pour l'effet utile, à soutenir le poids de ses outils pendant

Digitized by Google

qu'il les emploie, et de ce qu'enfin ces mêmes outils ont généralement peu de masse, et doivent, pour être efficaces, se manœuvrer avec une grande vitesse. L'ouvrier fatigue inutilement, et par ce poids qu'il porte, et par les mouvements trop rapides qu'il doit donner à ses bras, pour que l'outil qu'il manœuvre arrive à l'extrémité de la course avec une force vive suffisante. Il est, en quelque sorte, dans des conditions analogues à celles où il serait, si on le chargeait d'un certain poids, en même temps qu'il agirait sur le bouton d'une manivelle animée d'une trop grande vitesse ; et l'on peut affirmer, sans indiquer de chiffre précis, que son travail, à la fin de la journée, ne correspond réellement qu'à un petit nombre de milliers de kilogrammètres.

On voit donc que ces procédés d'abattage sont, *au point de vue purement mécanique*, des procédés barbares, et qu'on réaliserait un grand progrès, tant sous le rapport de la production que sous celui du prix de revient, si l'on parvenait dans ce travail, soit à mieux employer la force de l'homme, soit à lui substituer quelque autre moteur naturel.

On aperçoit d'ailleurs que si ce dernier résultat est important, il est en même temps difficile à atteindre. Il ne s'agit pas seulement, en effet, d'arriver à agencer un appareil opérateur qui, recevant l'action d'un moteur dans des conditions favorables à l'emploi de ce dernier, exécute, en l'automatisant le plus possible, une opération aussi simple que celle de la division d'une masse de rocher en plusieurs blocs. Il est bien clair qu'une foule de machines, employées dans l'industrie, exécutent des fonctions bien autrement délicates et complexes.

Mais il n'y a nulle comparaison à faire entre les conditions de l'installation à demeure, dans un atelier, d'une machine industrielle et de son moteur, et les mille sujétions qu'il faut remplir pour organiser l'abattage mécanique à un chantier. Il faut que l'appareil puisse être installé dans un espace très-resserré ; que sa mise en chantier soit prompte et facile ; qu'il puisse être écarté rapidement, lorsque les hommes arrivent pour faire la tombée, trier et charger les matières abattues, poser les chemins de fer et les boisages, faire les remblais, etc. ; toutes opérations qui ne semblent pas pouvoir

Digitized by Google

être faites mécaniquement, et qui, dans leur ensemble, prennent souvent autant et plus de temps aux ouvriers, qu'ils n'en emploient à manier le pic ou le fleuret. Enfin, l'appareil doit être assez simple pour qu'on puisse le multiplier, en proportion du nombre des chantiers que l'on veut tenir en activité à la fois.

Il semble donc que cette substitution de moyens mécaniques au travail manuel, ou, plus exactement, cette substitution *à une partie du travail manuel*, soit bien difficile à généraliser. Jusqu'à présent du moins, on s'est borné au cas où l'on avait quelque grand travail à travers bancs, dont il importait de hâter l'exécution (cours de machines n° 390), ou bien au cas où la méthode d'exploitation comportait des chantiers d'une grande largeur, en même temps que les conditions d'allure de la couche, notamment sa puissance et la solidité de son toit, permettaient de tenir le front de ces grandes tailles facilement accessible aux appareils mécaniques.

Toutes ces conditions sont nécessaires, et c'est à cause de cette nécessité que des appareils de ce genre, qui commencent, depuis quelques années, à être très-employées dans les houillères du Yorkshire, du Lancashire et du pays de Galles, n'ont pu se répandre dans d'autres bassins houillers, par exemple dans les mines de la compagnie d'Anzin, qui les a essayés sans succès.

(**148**). Quoi qu'il en soit, et sans pouvoir affirmer quel sera le dernier mot de tous ces essais, il est certain que la question est posée, que son importance est comprise, et qu'il importe à l'ingénieur de connaître au moins le principe des principales tentatives qui ont été faites, avec plus ou moins de succès, depuis une vingtaine d'années.

On peut distinguer, dans ces tentatives, celles qui ont eu pour objet de mieux utiliser la force motrice de l'homme, et celles, plus radicales, dans lesquelles on a voulu lui substituer la force d'un autre moteur.

Dans le premier ordre d'idées, on peut citer deux classes de dispositifs, la première dans laquelle on substitue au travail de la percussion le travail de la rotation, se rapprochant, plus ou moins, du mode d'action de l'homme sur une manivelle ou sur un balancier,

Digitized by Google

qu'il manœuvre en tirant et poussant alternativement ; la seconde, dans laquelle on cherche à remédier aux inconvénients signalés plus haut (n° 147) dans le travail ordinaire de la percussion.

(**149**). De tout temps, dans les roches tendres, on a fait les coups de mines, non avec le burin et la massette, mais à l'aide de tarières agissant par rotation. C'est l'outil notamment qu'on emploie dans les nombreuses carrières de gypse des environs de Paris (*fig.* 133).

C'est le même mode de travail que M. Lisbet a essayé d'étendre aux roches plus dures. Son outil est représenté figure 134. Il se compose d'un bâti, ou affût, qu'on place devant le chantier, en l'assujettissant contre le toit et contre le mur, au moyen de deux pointeaux, dont l'un est muni d'une vis butante pour mettre l'appareil en serrage. Le long de ce bâti, qui est susceptible de s'allonger ou de se raccourcir à la demande de la hauteur du chantier, glisse un coulisseau portant un écrou dont on peut varier l'orientation par rapport à l'axe du bâti. Cet écrou reçoit une longue vis à filet carré, à l'extrémité de laquelle se trouve la tarière hélicoïdale, en acier, qui doit agir par rotation. Cette tarière agit par sa pointe et par sa dernière spire ; les autres spires ne touchent pas le rocher et servent seulement à faire sortir les débris, comme par une espèce de vis d'Archimède. Comme l'avancement de la tarière doit être variable avec la dureté de la roche, tandis que la vis à filet carré a un pas constant, il doit être compris que la vis est creuse et que la tige de la tarière la traverse entièrement jusqu'au point où fonctionne le récepteur (manivelle ou levier de la garousse), qui sert à donner à cette tige un mouvement de rotation. La manivelle ou le levier peuvent se déplacer suivant l'axe de la tige d'une petite quantité, et la rendre, à volonté, solidaire ou indépendante de la vis. La tarière tourne, dans le premier cas, en s'avançant d'un pas de vis à chaque tour, et dans le second, tourne sans avancer. Lorsque la solidarité existe, l'outil tend à pénétrer dans le terrain qui lui oppose *une résistance croissante*. Lorsque cette résistance est devenue telle que l'ouvrier ne peut plus tourner davantage et que le cadre commence à fléchir, il débraye la vis ; l'outil continue encore à pénétrer dans la roche sous l'influence de la réaction du cadre, mais *la ré-*



Digitized by Google

*sistance est décroissante.* Quand elle est devenue nulle ou à peu près, il embraye de nouveau, et ainsi de suite.

Dans les roches tendres, l'embrayage peut être presque constant, et, en général, les périodes d'embrayage sont d'autant plus longues, comparées à celles du débrayage, que les roches sont moins dures. Avec des roches très-dures, ces manœuvres se succèdent rapidement; on exécute même le trou de mine en deux ou trois fois, avec des tarières de diamètres croissants. Du reste, l'instrument est peu approprié à ces roches dures.

Le perforateur Lisbet réussit assez bien dans les terrains houillers du nord de la France et de la Belgique, où, ainsi que nous l'avons déjà dit, les schistes sont beaucoup plus abondants que les grès.

Dans un terrain bien approprié à l'emploi de cet outil, deux hommes, mettant l'instrument en chantier et se relayant à la manœuvre, font assez de travail pour qu'un troisième homme soit constamment occupé à charger et à bourrer les trous de mine qu'ils exécutent.

(**150**). M. Leschot a imaginé un autre appareil à forer les trous de mine, dans lequel l'outil foreur agit encore par rotation, mais dans des conditions différentes de l'appareil Lisbet. Cet outil est un cylindre en fer creux, fileté à un bout sur une certaine longueur et terminé, à l'autre bout, par une sorte de couronne, ou bague, sur laquelle sont sertis des diamants noirs. Le sertissage se fait en pratiquant, sur la largeur de la couronne, de petites échancrures dans lesquelles on introduit la queue des petits morceaux de diamant, puis on mate avec soin. Les pointes de quelques-uns des diamants sont tournées en dehors et en dedans, de manière à dépasser un peu les rebords de la couronne. Celle-ci agit par un mouvement de rotation rapide, en même temps qu'elle avance dans le sens de son axe.

On creuse ainsi dans le terrain une rainure circulaire, qui laisse dans l'axe du trou, un témoin, ou noyau cylindrique, adhérent au rocher par sa base. Il est facile de le détacher, quand il a atteint une certaine longueur, en exerçant sur lui une pesée latérale.

Un courant d'eau, lancé avec force au fond du trou dans l'axe du

Digitized by Google

tuyau creux, expulse les détritus formés, tient la roche toujours bien décapée, et empêche l'échauffement de l'outil.

La figure 135 représente l'ensemble de l'appareil et le détail de la bague, qui s'assemble par un joint à baïonnette à l'extrémité du cylindre creux.

Le système comporte, comme l'appareil Lisbet, un bâti, le long duquel se meut un chariot, pouvant recevoir diverses inclinaisons ; un système assez complexe de roues mues par une manivelle, communique, à la tige, un mouvement rapide de rotation autour de son axe, et en même temps un mouvement lent de progression le long de cet axe. Ce dernier mouvement peut être modifié selon la dureté du rocher, au moyen de divers jeux d'engrenages de rechange.

L'appareil Leschot, contrairement à l'appareil Lisbet, est particulièrement approprié au traitement des roches très-dures, qui émousseraient rapidement tous les tranchants d'acier, et qui sont presque sans action sur les arêtes de diamant. Néanmoins le prix de ces diamants s'est de suite beaucoup élevé, dès que cette matière, très-peu abondante dans la nature, a eu ce nouveau débouché, et il y aura là probablement un obstacle sérieux, peut-être insurmontable, à l'extension de cet appareil, d'ailleurs très-satisfaisant en principe, et dont les détails d'exécution ont été très-bien étudiés par un habile constructeur, M. Pihet.

(**151**). Un autre appareil, sur lequel l'homme agit encore, à l'aide d'une manivelle, est la haveuse de M. Gay, représentée figure 136. Elle fonctionne comme une espèce de fraise, maintenue appuyée contre une paroi de l'entaille au moyen d'un contre-poids convenable, et elle prend, en même temps qu'elle tourne, un mouvement longitudinal. On forme ainsi l'entaille, en l'élargissant successivement par une série de passes de l'outil. Cet appareil, qui n'a pas encore été employé couramment, semble assez bien approprié à l'exécution d'entailles dans des roches assez tendres, telles que des marnes, certains minerais de fer, etc.

(**152**). Les dispositifs de la seconde classe ont été proposés par M. Delahaye et par M. Berreins.

Digitized by Google

M. Delahaye applique son système soit au travail du piqueur, soit à celui du mineur au rocher.

Il a cherché à combiner les avantages d'une situation plus commode pour l'ouvrier, d'un guidage complet de la pointe de l'outil, d'une augmentation de la masse choquante, permettant d'en réduire la vitesse et d'une liaison directe de la masse choquante avec la pointe de l'outil, évitant la perte de force vive qui résulte de l'emploi de la masette (voir n° 120).

Toutes ces idées semblent parfaitement rationnelles.

La figure 137 représente l'appareil destiné à faire des trous de mine, ou des entailles, dans une position rapprochée de l'horizontale. Il se compose de deux cadres, qu on peut allonger et assujettir, à peu près comme le cadre des appareils Lisbet ou Leschot. Ces cadres portent deux glissières, dont on règle la position au moyen de petits treuils placés au haut du cadre et munis de dents à rochet. Ces glissières reçoivent les extrémités d'un guide fixe en bois, terminé, d'un côté, par une tige de fer simplement posée sur les galets du cadre d'arrière et, de l'autre côté, par une petite tête de bielle liée à la glissière du cadre d'avant.

Le long du guide en bois peut se mouvoir un chariot porte-outil, formé de deux flasques en fonte entretoisées par des boulons. Ces flasques sont munies chacune de trois trous qui se correspondent et qui servent à fixer l'outil, ceux du bas pour faire la sous-cave, ceux qui sont sur les côtés pour faire, l'une la rouillure de droite et l'autre la rouillure de gauche.

On imprime au chariot un mouvement de va-et-vient qui fait agir l'outil par percussion. Un arrêt élastique limite le mouvement de recul du chariot, de manière à préparer le retour en avant sans une dépense inutile de force de la part de l'ouvrier. Lorsqu'il s'agit, non d'une entaille, mais d'un coup de mine, l'assemblage de l'outil avec le chariot doit permettre la rotation de cet outil, et cette rotation est donnée, vers la fin de la course rétrograde, à l'aide d'une *étoile*, suivant un artifice bien connu dans une multitude de machines-outils.

S'il s'agissait de trous de mine à forer dans une direction rapprochée de la verticale, les cadres seraient supprimés et le guide de-

Digitized by Google

vrait être à longueur variable. Il serait directement fixé contre le toit et le mur par une vis butante; le battage se ferait en élevant d'abord le chariot à l'aide d'une manivelle, puis le laissant redescendre en déclanchant la manivelle à l'aide d'un verrou disposé comme celui qui fixe la position du levier de changement de marche dans une locomotive.

On voit que l'on fonctionnerait ainsi à peu près dans les conditions du battage des pieux à l'aide d'une sonnette à déclic.

L'appareil de M. Berreins, qui a figuré en grandeur d'exécution à l'exposition universelle de 1867, mais qui ne semble pas avoir été employé, avait pour objet, non-seulement de mieux utiliser *la force de l'homme*, comme le précédent, mais encore de permettre d'utiliser, à un avancement ayant les dimensions restreintes ordinaires, *la force d'un assez grand nombre d'hommes*, et par conséquent d'accélérer doublement le travail. Il se composait d'une grande cloche en tôle, terminée par une couronne, sur la circonférence de laquelle étaient distribués des trépans en acier.

C'était, sauf l'échelle, une disposition analogue à la couronne de diamants noirs de M. Leschot. Mais l'appareil était destiné à agir par percussion, et non par rodage. Cette cloche était munie d'une longue queue portée sur des rouleaux disposés dans l'axe de la galerie, et des hommes, placés dans la même position que des rameurs, agissaient par des mouvements de va-et-vient sur des bras implantés perpendiculairement sur la queue.

On faisait ainsi une entaille circulaire, à la suite de laquelle l'explosion d'un gros trou de mine central, ou une action énergique de pesée exercée dans la rainure avec des coins, pouvait détacher le cylindre de rocher ne tenant plus que par la base.

Il eût été, sans doute, facile de compléter cet appareil, par une disposition lui imprimant un léger mouvement de rotation après chaque coup, et en l'armant d'un trépan à l'aide duquel on aurait exécuté le trou central, en même temps que l'entaille circulaire.

Ce qu'on doit surtout retenir de l'appareil décrit, c'est l'idée d'appliquer *sur un même point*, où d'ordinaire l'espace ne permet pas de faire travailler plus de deux ou trois mineurs, *la force d'un*

Digitized by Google

*nombre d'hommes beaucoup plus grand;* cela peut, dans un cas urgent, avoir un grand intérêt.

On voit que les appareils Delahaye et Berreins reviennent, en définitive, à appliquer la force de l'homme, non à de *petites masses* auxquelles on donne *une grande vitesse*, mais à des *masses importantes*, à des espèces de *béliers*, dont on met la *force d'inertie* en jeu, sans leur imprimer une grande vitesse et sans avoir à se préoccuper *de leur poids*.

(**153**) Les moyens d'améliorer l'emploi de la force de l'homme n'ont encore paru qu'une solution incomplète de la question économique proposée, et l'on a cherché à y substituer celle d'un autre moteur.

La question ainsi posée est sans doute importante, comme nous l'avons dit plus haut; mais il convient cependant d'apprécier la limite de cette importance, et il ne faudrait pas conclure des valeurs comparées des *kilogrammètres*, produits, d'un côté, par la force de l'homme, de l'autre, par un autre moteur quelconque, à une économie comparable dans le travail de l'abattage. C'est seulement, comme on l'a déjà remarqué, au travail *des entailles*, ou *du forage*. que le moteur mécanique peut être appliqué, et il faut bien toujours l'intervention directe de l'homme, non-seulement pour mettre la machine en chantier et pour en surveiller la marche, mais encore pour faire tous les travaux accessoires qui incombent au mineur dans le cours de la journée, travaux qui absorbent souvent plus de la moitié de son temps.

C'est donc moins l'économie *d'argent* que l'économie *de temps*, ou, ce qui est la même chose, *l'augmentation dans le travail produit journellement par un nombre donné d'hommes*, qui doit être considérée comme la principale conséquence de l'emploi d'une force motrice autre que celle de l'homme. Cette économie de temps résulte de ce que l'on peut, comme dans le système Berreins, et même dans une mesure beaucoup plus large, accumuler à l'avancement une force équivalente à celle d'un grand nombre d'hommes.

(**154**) En principe, en considérant les choses au point de vue

Digitized by Google

purement mécanique, on comprend que l'on puisse appliquer un moteur quelconque (*Cours de mécanique*, n° 34). Mais le travail moteur à développer dans une mine comporte des sujétions particulières, à cause du très-petit emplacement dont on dispose le plus souvent, et à cause de la difficulté de l'aérage, qui exclut en général les circonstances qui seraient de nature à porter l'air à une haute température, ou à le vicier par la soustraction de l'oxygène, ou enfin à nécessiter la présence de foyers à l'intérieur de la mine. En d'autres termes, la vapeur d'eau, comme agent direct de production de la force au chantier, doit être proscrite en général, sauf les cas particuliers où l'absence complète du grisou, ou bien la facilité de dégagement de la vapeur ou des produits de la combustion permettraient d'en agir autrement.

C'est dans ces dernières conditions qu'on a employé en Angleterre et qu'on emploie encore aujourd'hui, sur une assez grande échelle, les machines à vapeur à l'intérieur des mines, soit que les chaudières soient placées elles-mêmes à l'intérieur, au voisinage des foyers d'aérage, avec les précautions voulues pour en éloigner les courants d'air chargés de grisou, soit qu'on les installe au jour, et qu'on conduise la vapeur à l'intérieur au moyen de longues lignes de tuyaux. Mais ces machines sont *placées à demeure*, dans des *points déterminés*, où toutes les dispositions sont prises pour évacuer, sans inconvénient pour la ventilation, la vapeur d'échappement.

Pour les *machines mobiles*, qui doivent pouvoir fonctionner aux divers chantiers et se déplacer au fur et à mesure de l'avancement, on emploiera soit une force hydraulique, soit l'air comprimé. Par les motifs indiqués au *Cours de machines* (n$^{os}$ 392 à 397), on peut reconnaître que la combinaison préférable, au point de vue mécanique, sera habituellement *l'emploi de l'air comprimé*. La compression de l'air se fera au jour, par un moteur quelconque, et l'air comprimé sera réparti, par une canalisation appropriée, sur les divers points d'emploi.

La perte de charge résultant de la longueur de cette canalisation sera moindre qu'avec de la vapeur, à cause du refroidissement auquel celle-ci est exposée, et qu'avec l'eau, à cause des moindres

Digitized by Google

frottements. De plus, l'emploi de l'air contribuera à aérer, et, en même temps, à rafraîchir le chantier.

Le seul inconvénient, et il est assez sérieux, sera de nécessiter *une machine spéciale* pour la compression de cet air, tandis qu'en prenant l'eau à la surface, *la même machine* d'épuisement, établie pour l'exhaure de la mine, élèvera en même temps, et pour ainsi dire *par-dessus le marché*, la petite quantité d'eau qui devra redescendre en pression pour faire marcher les appareils mécaniques installés aux chantiers d'abattage.

On pourrait encore, il est vrai, ainsi qu'on l'a fait quelquefois, donner *comme service accessoire* le fonctionnement d'un compresseur à une machine *ayant une autre destination principale*, telle que l'épuisement, l'extraction, ou même la ventilation d'une mine; mais cette superposition, en quelque sorte, de deux fonctions qui peuvent avoir des exigences différentes quant aux heures d'emploi, aux variations de vitesse, etc., etc., n'est pas sans inconvénient.

On se bornera le plus souvent à emprunter la vapeur aux chaudières de la machine principale, mais à l'utiliser sur un récepteur spécial à l'appareil de compression.

Qu'il s'agisse d'ailleurs d'air comprimé ou d'eau, les récepteurs pourront recevoir la même disposition générale, semblable, sauf en ce qui concerne les détails de la distribution dans le cas de l'eau, à la disposition qu'on aurait adoptée pour la vapeur (*Cours de machines*, n$^{os}$ 279 et 397).

L'air comprimé est ainsi bien indiqué, comme on le voit par ce qui précède, dans son emploi aux moyens mécaniques d'abattage. Il l'est également, comme on le verra plus loin, pour d'autres usages à l'intérieur des mines.

On doit donc penser qu'il jouera à l'avenir un rôle important dans les travaux des mines, non comme un moteur proprement dit fourni par la nature, mais comme un *moyen commode de transmission* entre un récepteur placé *au jour* et actionné par un moteur unique, et un nombre quelconque d'opérateurs de toute espèce, répartis sur les divers points de l'*intérieur* d'une mine en exploitation.

Quant à ceux de ces opérateurs qui seront affectés au travail de

Digitized by Google

l'abattage, on doit les distinguer en *haveuses* servant à faire les entailles et les sous caves, et en *perforatrices* servant à faire les coups de mines.

(**155**) Les haveuses ont toutes une origine anglaise. C'est, en effet, en Angleterre que la nature des couches de houille se prête le mieux à leur emploi. C'est aussi le pays où la production se développe le plus, et où l'exploitant a le plus à souffrir de la rareté des ouvriers, et de leurs exigences croissantes, qui portent, à la fois, sur la diminution des heures de travail et sur l'augmentation du salaire journalier.

En avançant le long d'une grande taille, ouverte dans une couche suffisamment puissante et dont le toit est assez bon pour qu'il n'y ait pas besoin de poser les boisages à front de taille, une haveuse fait rapidement le travail de sous-cave, qui demanderait peut-être un couple d'heures, quelquefois la moitié de leur journée, à chacun des ouvriers distribués le long de la taille. C'est autant de gagné pour l'emploi de leur temps aux travaux accessoires que comporte le chantier, et la production individuelle de l'ouvrier, ainsi que celle du chantier, s'en trouve accrue.

Deux systèmes de haveuses semblent, jusqu'à ces dernières années, avoir obtenu la préférence, celui de Carrett et Marshal et celui de Jones et Levick.

Dans le premier, qui est actionné par une chute d'eau agissant sur un piston, la sous-cave se produit à l'aide de plusieurs gouges en retraite les unes sur les autres, qui élargissent successivement l'entaille en enlevant, pour ainsi dire, des séries de *copeaux* contigus. L'appareil est porté par un chariot mobile sur un petit chemin de fer qui longe le front de taille et doit être ripé, après chaque poste d'abattage, d'une quantité égale à l'avancement obtenu. La force de réaction du rocher contre la gouge qui l'entame, tendrait à déverser le chariot hors de la voie ; mais, au même moment où la gouge va fonctionner, un deuxième piston, mû également par l'eau en pression, soulève un butoir, ou béquille, qui vient presser contre le toit et arc-bouter ainsi le chariot.

L'appareil est entièrement automatique, en ce sens que, non-

Digitized by Google

seulement il produit l'enfoncement de la gouge et l'arc-boutement du chariot, mais encore il se hale sur ses rails, d'une petite quantité à chaque mouvement de recul du porte-outil et du butoir, après que le porte-outil a exécuté une course entière. Cette combinaison mécanique, bien qu'un peu complexe, à cause de la multiplicité des fonctions qu'on lui demande, est, en principe, assez satisfaisante. La haveuse dont il s'agit est représentée fig. 138 en plan et en élévation.

La machine de Jones and Levick est plus proprement une haveuse, en ce sens que l'outil exécute un véritable travail de havage, tout à fait analogue à celui du pic ou de la rivelaine.

L'appareil, porté sur un chariot mobile le long de la taille, est mû par l'air comprimé, et le chariot se déplace à la main de l'ouvrier qui conduit la machine.

Le piston mû par l'air comprimé fait agir, à l'aide d'un système de leviers, un gros pic qui peut s'orienter à volonté, et se mouvoir tantôt dans un plan parallèle à la couche pour faire la sous-cave, tantôt dans un plan perpendiculaire pour faire l'entaille.

Le mouvement de la machine n'est *automatique* qu'en ce qui concerne le mouvement tant direct que rétrograde du pic.

Un artifice particulier fait jouer la distribution, même quand le pic, et par conséquent le piston, n'arrive pas à fond de course. A cet effet, la tige du piston est creuse, et porte un curseur qui participe au mouvement d'entraînement du piston, et qui continue et achève sa course en vertu de la vitesse acquise, si le pic vient à être arrêté prématurément par une trop grande résistance de la roche; par exemple, lorsqu'on veut trop mordre à la fois, ou bien que la pointe du pic rencontre dans le havrit quelque rognon dur de pyrite ou de fer carbonaté.

C'est la machine de Jones and Levick qui, dans ces derniers temps, a été essayée sans succès à Anzin, par des motifs dérivant de l'allure des couches plutôt qu'inhérente à l'appareil lui-même.

L'appareil de MM. Jones et Levick est représenté, figure 139, en élévation et en coupe; la coupe représente l'artifice dont il vient d'être parlé.

Les deux appareils ci-dessus, qui figuraient l'un et l'autre à l'Exposition universelle de 1867, ont appelé l'attention des inventeurs,

Digitized by Google

et depuis lors de nombreux appareils se sont produits en Angleterre, notamment ceux de MM. W. Baird et Ce, W. Benson, Kirkley Birkenshaw, Simson, et enfin celui de MM. Winstanley et Barker, qui semble, en ce moment, obtenir la préférence.

(**156**). On a trouvé généralement que l'emploi de l'air comprimé était plus commode que celui de l'eau pratiqué par MM. Carrett et Marshal, et que l'emploi d'un outil à chocs, comme celui de MM. Jones et Levick, n'était pas sans inconvénient, au point de vue de la conservation en bon état de l'appareil.

La tendance semble donc être, et avec raison, selon moi, à l'emploi exclusif de l'air comprimé comme moteur, et à l'emploi d'outils fonctionnant, non comme une gouge à mouvement lent exigeant un très-grand effort, ni comme un pic avec les inconvénients inhérents aux chocs, mais plutôt comme des espèces de scies, soit scies circulaires, soit scies à ruban. Cette idée de l'emploi de la scie n'est d'ailleurs pas nouvelle, car un modèle de haveuse à scie circulaire, mue à bras, existait déjà à la première Exposition universelle de Londres, en 1851.

Les outils nouveaux sont distribués en séries, soit à la circonférence d'une roue, soit sur les maillons d'une chaîne sans fin, et se meuvent avec une grande vitesse, en ouvrant progressivement des entailles qui prennent jusqu'à 7 à 8 centimètres de hauteur, et peuvent atteindre jusqu'à $0^m,85$ à 1 mètre de profondeur.

Tel est le système qu'on essaye, en ce moment même, aux mines de Blanzy.

Dans le plus grand nombre de ces appareils, ou du moins dans ceux dont l'usage se répand le plus, on a renoncé volontairement, et avec raison, à une automatisation complète, qui les compliquerait notablement. L'air comprimé ne sert alors qu'à mouvoir l'outil qui fait la sous-cave, et la progression le long de la taille se fait au moyen d'un treuil mû à bras. Ce système semble préférable pour un appareil qui doit être simple et facile à mettre en chantier, et qui est appelé à circuler sur une voie dont la pose ne peut être très-soignée, puisque cette voie se déplace tous les jours.

D'après des renseignements récemment publiés par M. Brüll,

Digitized by Google

une haveuse de Winstanley et Barker, mue par deux petites machines conjuguées à air comprimé marchant à 80 tours par minute, et consommant par tour 18 litres d'air à 3 atmosphères de pression effective, ou 1,440 litres par minute, fait, en 8 à 10 heures de travail, dans un charbon très-dur où le travail à la main est considéré comme difficile, une sous-cave de 75 millimètres de hauteur et de $0^m,85$ de profondeur, sur un front de taille de 120 yards, ou de 109 mètres de largeur.

Elle occupe 3 hommes et fait le travail de 20 à 25 bons ouvriers haveurs. Il y a donc une économie importante de main-d'œuvre; en même temps, on peut, avec un développement donné des chantiers. réaliser une augmentation de la production journalière.

Un autre avantage secondaire, mais cependant d'une certaine valeur, surtout pour les couches minces, est la diminution dans la proportion de menu, par suite de la moindre hauteur donnée au havage.

En négligeant l'influence de la détente assez faible avec laquelle on fait agir l'air comprimé, une dépense de 1,440 litres d'air par minute, à une pression effective de 3 atmosphères, correspond à un travail de

$$1440 \times \frac{1}{1000} \times 3 \times 10334 = 44643 \text{ kilogrammètres}$$

ou de

$$\frac{44643}{75 \times 60} = 10 \text{ chevaux environ.}$$

La force serait moindre avec de la houille plus tendre, permettant de diminuer soit la pression de l'air, soit le volume dépensé dans un temps donné.

(**157**) Si l'on veut avoir une idée de l'*augmentation* à espérer sur la production journalière *avec un personnel donné*, on pourra supposer que le travail de la sous-cave corresponde à une certaine fraction de la journée du piqueur, cette fraction tendant à s'approcher de l'unité quand les charbons sont faciles à abattre et le toit solide, et que les piqueurs ne remblayent pas, pouvant descendre à 1/2 et même

Digitized by Google

au-dessous lorsque les piqueurs, outre l'entaillement et la tombée, ont beaucoup de travaux accessoires, pour bouter et charger le charbon, pour boiser la taille, remblayer, etc.

Supposons que le piquage se faisant tout entier à la main, la mine emploie $n$ piqueurs, et $m$ ouvriers de toutes les autres catégories, et qu'elle produise T tonnes par jour.

Avec la haveuse mécanique, employée à tous les chantiers, ces nombres deviendront respectivement $n'$, $m'$ et $T'$, et la question est de déterminer la quantité $\frac{T'-T}{T}$, ou l'augmentation relative de la production journalière.

On a les relations suivantes :

En premier lieu $m+n=m'+n'$ puisque le personnel est, par hypothèse, invariable ;

En second lieu $\frac{m'}{m}=\frac{T'}{T}$, si l'on suppose, ce qui est à peu près vrai, que l'ensemble des divers services autres que le piquage absorbe un personnel proportionnel à la production ;

Enfin,

$$\frac{T}{n}=\frac{T'}{n'}(1-\alpha), \text{ ou } \frac{n'}{n(1-\alpha)}=\frac{T'}{T},$$

relation exprimant que la production du piqueur est augmentée dans la proportion de $1-\alpha$ à l'unité, dès que la fraction $\alpha$ de son temps cesse d'être employée au havage.

D'autre part, appelons $\beta$ le nombre d'hommes employés dans la mine, pour un piqueur travaillant dans les conditions ordinaires, $\beta'$ ce que devient ce nombre quand on emploie la haveuse mécanique, on aura d'abord la relation :

$$\beta'=\frac{\beta}{1-\alpha}.$$

L'égalité $m+n=m'+n'$ devient

$$n\beta+n=n'\beta'+n',$$

$$n(\beta+1)=n'\left(1+\frac{\beta}{1-\alpha}\right)=n'\frac{1+\beta-\alpha}{1-\alpha},$$

Digitized by Google

d'où l'on déduit

$$\frac{n'}{n(1-\alpha)} = \frac{1+\beta}{1+\beta-\alpha} = \frac{T'}{T},$$

et par suite

$$\frac{T'-T}{T} = \frac{T'}{T} - 1 = \frac{1+\beta}{1+\beta-\alpha} - 1 = \frac{\alpha}{1+\beta-\alpha}.$$

Si l'on supposait, ce qui est un résultat assez acceptable comme moyenne, $\alpha = \frac{1}{2}$, $\beta = 3$, on en déduirait

$$\frac{T'-T}{T} = \frac{\frac{1}{2}}{1+3-\frac{1}{2}} = \frac{1}{7}.$$

Ainsi, avec *un personnel donné*, la production de la mine pourrait augmenter *d'un septième*.

Si, au lieu d'un *personnel donné*, on supposait un développement donné de chantiers d'abattage, sans limitation de personnel, la production des piqueurs pouvant être occupés à un chantier donné, et, par conséquent, la production pour la mine entière serait proportionnelle à la quantité $\frac{1}{1-\alpha}$.

Elle *doublerait donc* dans l'hypothèse où l'on ferait $\alpha = \frac{1}{2}$.

Les nombres ci-dessus, $\frac{\alpha}{1+\beta-\alpha}$ et $\frac{1}{1-\alpha}$, montrent quels avantages considérables, au point de vue de la production, peuvent être réalisés par l'emploi des haveuses mécaniques. Mais il faut que cet emploi ne soit pas *impossible*, ou au moins ne soit pas *trop onéreux*.

Or la dépense de première installation sera toujours assez importante, et l'effet utile journalier d'un appareil donné sera bien réduit, s'il doit fonctionner à des chantiers peu étendus en largeur, et là où la consistance du toit de la couche, ou de la couche elle-même, exigera de boiser à front de taille ; car alors on perdra trop de temps et de main-d'œuvre à transporter la machine d'un chantier à l'autre, et à remanier le boisage pour la laisser passer le long du front de taille.

Digitized by Google

Je crois donc qu'il pourra bien arriver que l'emploi du havage mécanique, tout important qu'il ressorte de la discussion ci-dessus, ne soit pas applicable chez nous au même degré, à beaucoup près, que dans les houillères anglaises.

(**158**) Les appareils perforateurs, destinés à faire des trous de mine, ont beaucoup attiré l'attention des ingénieurs, depuis la première solution pratique qui en a été donnée par M. Sommeiller, au grand travail de percement du mont Cenis.

On peut concevoir que ces perforateurs agissent par rotation; mais le plus souvent ils agissent par percussion, en imitant le travail à la main.

Comme appareil de rotation, nous citerons le perforateur Leschot, mis en mouvement par un moteur de l'invention de M. Perret, qui n'est autre chose qu'une petite machine de rotation à colonne d'eau, à grande vitesse.

L'application de ce récepteur au perforateur Leschot, étudiée par MM. de la Roche-Tolay et Perret, a permis de simplifier beaucoup ce perforateur, par la suppression des organes destinés à lui donner le mouvement de translation dans le sens de l'axe. On se contente, ce qui est à la fois plus simple et plus satisfaisant, de le tenir appuyé contre le fond du trou par la pression constante de l'eau agissant sur sa tête, pression dont on varie l'intensité selon la nature de la roche.

L'appareil est très-bien étudié dans tous ses détails et semblerait appelé à se répandre dans la pratique, si le prix élevé des diamants noirs n'y mettait un sérieux obstable.

Comme pour l'appareil mû à la main, son emploi est d'autant plus indiqué que la roche est plus dure. Il est représenté sur la figure 140 (voir la légende des planches).

(**159**) Le premier perforateur à percussion qui ait fonctionné est, avons nous dit, celui de M. Sommeiller, au percement du mont Cenis.

Ce percement, le plus considérable qu'on ait fait jusqu'ici, devait être exécuté sur une longueur de 12,200 mètres, et le relief du sol excluait, sauf sur une petite étendue au voisinage des deux tê-

Digitized by Google

tes, l'établissement des puits de service, qui auraient dû avoir des profondeurs excessives, jusqu'à 1,000 mètres et plus dans la partie centrale.

Ainsi, on avait une longueur de plus de 12 kilomètres à exécuter *au moyen de deux chantiers seulement*. D'après la nature des roches qui ont été traversées, on peut bien penser que l'avancement mensuel moyen, même en marchant à trois postes, aurait difficilement dépassé 10 à 15 mètres par les procédés ordinaires du travail à la main ; de sorte que la durée d'exécution, sur le pied *probablement exagéré* de 200 mètres par an, aurait été *d'une trentaine d'années au moins*.

Une telle durée équivalait, pour une compagnie industrielle, à une sorte d'impossibilité, à cause de la dépense qui fût devenue excessive par suite de l'accumulation des intérêts du capital engagé dans l'entreprise, et surtout par suite de la dépréciation que cette lacune persistante aurait apportée aux deux lignes de chemin de fer, que la percée devait réunir. La plus grande rapidité dans l'exécution était donc une condition essentielle à remplir. C'est à l'occasion de ce grand travail que M. Sommeiller, après de nombreux essais, a proposé et a fait accepter la double idée, d'abord, d'après les conseils de M. Colladon, d'employer l'air comprimé, pour transporter jusqu'au front de taille, *à une distance jusque-là inusitée*, la force motrice des chutes d'eau dont on disposait aux deux têtes du souterrain, et *ensuite*, d'appliquer la force motrice ainsi transportée à des appareils perforateurs, dont la première pensée semble due à un ingénieur anglais, M. Bartlett, mais que M. Sommeiller lui-même a grandement perfectionnés.

Les appareils à comprimer l'air ont été décrits dans le *Cours de machines* (nos 390 et suivants).

Nous n'avons à parler ici que des appareils perforateurs qui, successivement perfectionnés par l'inventeur, ont permis d'accélérer de plus en plus le travail, à mesure qu'il avançait, et qu'on aurait pu penser qu'il devenait, par cet avancement même, plus difficile.

L'avancement *trimestriel* a souvent dépassé 200 mètres, et le travail qui, par les procédés ordinaires, aurait probablement dépassé 30 ans, comme nous venons de le dire, et qui, en 1862, lors de la

Digitized by Google

cession de la Savoie, avait été estimé par les deux gouvernements français et italien *pouvoir durer encore* 25 *ans*, aura été achevé *en moins de* 9 *ans*, sur une longueur restant alors à exécuter, d'environ 10 kilomètres.

(**160**) La figure 141 représente l'appareil, ou plus exactement l'*un des appareils* qui, portés sur un même affût, fonctionnaient aux avancements du tunnel. Ils recevaient l'air comprimé venant du jour par une ligne de tuyaux de fonte de $0^m,14$, qui, à la fin des travaux, dépassait 6 kilomètres.

Les appareils représentés sont le dernier terme des perfectionnements successifs apportés par l'inventeur dans le cours du travail, au fur et à mesure que la pratique en faisait ressortir l'opportunité.

Ils sont complétement automatisés, faisant le travail de la percussion du fleuret, lui donnant le mouvement de rotation, et enfin imprimant les mouvements de progression directe et rétrograde nécessaires, soit pour suivre l'enfoncement de l'outil pendant le battage, soit pour lui en substituer un plus long, lorsqu'il est à fond de course.

La percussion est produite par la différence de pression de l'air comprimé, agissant, d'un côté, sur la face libre d'un piston, et de l'autre, sur la surface annulaire qui entoure la tige de ce même piston. Le mouvement de recul de l'outil est produit par la pression sur cet espace annulaire, alors que le tiroir met en communication la face opposée du piston avec l'atmosphère. On peut régler la grosseur de la tige de manière à réduire, autant qu'il convient, la force employée au recul de l'outil, et la quantité d'air consommée dans ce mouvement.

Quant à tous les autres mouvements, ils sont, pour être soustraits aux irrégularités et à la fatigue inhérentes à la percussion, empruntés à un appareil spécial qui n'est autre chose qu'une petite machine à air à double effet, dont on règle la vitesse à volonté. Cette petite machine donne un mouvement continu et régulier de rotation à un axe longitudinal sur lequel on prend les commandes nécessaires :



Digitized by Google

D'abord, pour faire mouvoir le tiroir de distribution de l'appareil de percussion;

En second lieu, pour communiquer à l'outil, pendant son recul, un petit mouvement de rotation;

En troisième lieu, pour faire progresser le long de son bâti l'appareil de percussion, au fur et à mesure de l'avancement du trou;

Quatrièmement enfin, pour reculer tout cet appareil, lorsqu'il est arrivé sur son bâti à la limite de sa course, et que le fleuret doit être remplacé par un plus long.

(**161**) La figure 142 représente l'affût sur lequel étaient montés les appareils qui travaillaient à la fois à l'avancement.

Ces appareils, d'abord au nombre de 8, exécutaient, sur un front de taille qui avait, à l'origine des travaux, 4 mètres de largeur sur 3 mètres de hauteur, une série de trous de mine ordinaires de 3 à 4 centimètres sur $0^m,90$ de profondeur, et une autre série de gros trous de $0^m,09$, dits trous de déchaussement, qu'on ne chargeait pas de poudre, et qui servaient seulement, comme eur nom l'indique, à dégager la roche et à faciliter l'action des coups de mine.

On faisait, à moitié de la hauteur de la galerie, une ligne horizontale composée de 8 trous de mine de $0^m,03$ et de 4 trous de déchaussement, pour produire une cavité centrale de $0^m,90$ de profondeur, $1^m,50$ de largeur et d'environ $0^m,50$ de hauteur : autour de cette cavité centrale, suivant plusieurs lignes horizontales et suivant des lignes épousant le périmètre de la galerie, on disposait une cinquantaine à une soixantaine de coups de mine de $0^m,04$, qui achevaient l'avancement sur une longueur égale à la profondeur des coups de mine.

Les perforateurs, d'abord au nombre de 8, exécutaient ces 60 ou 70 coups de mine en 6 heures de temps, et le reste du poste de 12 heures était employé à charger ces trous avec des cartouches auxquelles on donnait $0^m,30$ de long, à les bourrer et à les faire partir en plusieurs salves régulières, puis à achever sommairement, au pic et à la pince, le travail de l'abattage, et enfin à enlever les déblais, de manière à pouvoir remettre l'affût en place et prêt à fonctionner pour le poste suivant.

Digitized by Google

Par ce procédé, la roche était broyée en morceaux de 4 à 5 décimètres cubes au plus, faciles à charger, et à la fin de chaque poste le front de taille se trouvait reporté en avant, convenablement affranchi et prêt à recevoir de nouveaux coups de mine.

L'avancement journalier normal étant ainsi *double de la profondeur donnée aux coups de mine*, profondeur qui dépendait elle-même de la nature du terrain.

Ce mode de travail peut être considéré comme prodiguant beaucoup la poudre, relativement à ce qu'on aurait pu faire si l'on avait travaillé à la main ; mais, comme on l'a vu, l'essentiel était de *marcher vite*, et il fallait diminuer la main-d'œuvre autant que possible, si l'on voulait obtenir une rapidité de déblayage en rapport avec celle du forage des trous de mine. Aussi, pour gagner du temps, a-t-on successivement réduit la section du front de taille (qui n'avait plus à la fin que $2^m,50$ sur $2^m,80$), augmenté jusqu'à 14 le nombre des perforateurs, et poussé les trous de mine jusqu'à 1 mètre ou $1^m,20$. On a pu ainsi faire jusqu'à 224 mètres d'avancement dans un trimestre, soit *plus de 4 fois* ce qu'on aurait obtenu à la main.

Un semblable travail eût encore été essentiellement accéléré par l'emploi de la dynamite, qui aurait permis de faire les trous plus profonds.

(**162**) On doit remarquer, comme détail pratique, la forme donnée aux fleurets. Au lieu d'un simple tranchant rectiligne ou légèrement courbe, on leur donne un tranchant en forme de Z, la rotation ayant lieu, pendant la percussion, dans le sens qu'indique la flèche (*fig.* 143).

Cette disposition contribue à l'alésage du trou, et l'empêche de prendre une section triangulaire, comme celle que lui donnent parfois des ouvriers maladroits.

Il est clair que le fleuret à simple tranchant peut tourner dans un trou, non-seulement quand ce trou a une section circulaire d'un diamètre égal à ce tranchant, mais encore lorsque la section est un triangle curviligne construit au moyen d'un triangle équilatéral dont le côté est égal à ce même tranchant, et dont chaque sommet, tel que

Digitized by Google

B, est le centre d'un arc de cercle de 60° passant par les deux autres sommets B′ et B″ (voy. *fig.* 143). Plus généralement encore, la section pourrait être un polygone formé d'un nombre impair de côtés curvilignes, dont chaque côté serait un arc de cercle, décrit du sommet opposé comme centre, avec un rayon égal au diamètre du tranchant.

Un autre détail intéressant est la disposition employée pour le curage des trous de mine. On aurait perdu trop de temps à arrêter les perforateurs pour employer la curette. On employait une sorte de lance à incendie qui projetait l'eau avec force dans les trous, et qu'on promenait de l'un à l'autre pendant le forage. La pression était donnée à l'eau, en la tenant dans un réservoir fermé, avec l'intérieur duquel on faisait communiquer, par un tube muni d'un robinet, l'air en pression contenu dans le tuyau d'amenée venant des réservoirs des compresseurs.

La rapidité du travail étant, comme on l'a dit, la condition essentielle à remplir, on devait être outillé très-largement pour éviter les pertes de temps. Ainsi, pour 14 appareils en fonction à la fois, on en avait un assortiment de 60.

Chacun d'eux, ayant une longueur maximum de $2^m,80$, pesait 260 kilogrammes. Il donnait 250 à 300 coups par 1′; dépensant, par coup, avec une course maximum de $0^m,25$ un peu plus de 1 litre d'air à 4,5 atmosphères de pression effective. Toutes les pièces étaient faites sur modèles uniformes et ajustées à l'avance; de telle sorte qu'une pièce de rechange donnée allait à une machine quelconque.

Le poids de l'appareil (260 kil.) peut paraître un peu lourd; mais on a préféré, et avec raison, sauf à rendre le maniement et la pose un peu plus pénibles, renforcer chaque pièce pour obtenir des organes suffisamment résistants.

(**163**) Nous sommes entrés, sur le perforateur Sommeiller et sur son emploi, dans des détails qui nous permettent d'abréger ce que nous avons à dire sur les autres appareils, plus ou moins analogues, qui ont été proposés et employés dans ces derniers temps.

Nous considérons le percement du mont Cenis comme un travail

Digitized by Google

des plus remarquables dans lequel les procédés d'exécution employés ont constitué, pour l'art de l'ingénieur, un très-grand progrès.

Nous pensons que l'air comprimé était bien le meilleur moyen à employer dans un travail de ce genre, pour aller porter à l'avancement la force motrice indispensable à une exécution rapide; nous croyons que, dans l'état actuel de l'art, la substitution de la dynamite à la poudre est la seule amélioration importante qui puisse être indiquée aux procédés suivis, et que dans un travail analogue cette substitution aura pour conséquence un avancement plus rapide, presque dans la proportion de l'augmentation de profondeur qu'on pourra ainsi donner aux coups de mine.

Peut-être peut-on dire que dans la pensée d'arriver à une automatisation complète du perforateur, l'inventeur en a fait un appareil, très-ingénieux sans doute, mais un peu complexe, et qu'il y aurait quelque avantage à le simplifier. C'est ce qu'on peut faire, par exemple, en renonçant au mouvement automatique de progression longitudinale pendant le battage. Il faut bien qu'on ait des hommes pour surveiller les appareils qui fonctionnent, et ces hommes peuvent parfaitement, à l'aide d'une manivelle faisant mouvoir un chariot le long d'une vis, produire le petit déplacement nécessaire pour que le piston de l'appareil percuteur puisse toujours se mouvoir à pleine course et sans frapper contre les fonds de son cylindre.

Cette simplification, analogue à celle dont nous avons parlé pour les haveuses (n° 157), est surtout indiquée pour une galerie de mine ordinaire, où le nombre nécessairement réduit des perforateurs en rend la surveillance facile.

**(164)** Les essais de perforateurs ont été nombreux depuis une vingtaine d'années. Nous citerons celui de M. Schwarzkopf, dans lequel l'action de l'air comprimé sur le piston faisait mouvoir une sorte de massette venant frapper le fleuret. Nous avons vu l'infériorité théorique de ce système sur celui qui consiste à faire agir l'air comprimé directement sur l'outil lui-même. Nous citerons encore celui de M. Schumann, insuffisant au point de vue de l'automatisa-

Digitized by Google

tion; ceux de MM. Doering, Bergstroem, Sachs, Haupt, Crease, Burleigh, etc., etc., dans la plupart desquels on remarque souvent des combinaisons cinématiques très-heureuses. Cependant il semble qu'on se soit trop attaché le plus souvent, soit à réduire le poids de l'appareil pour le rendre plus maniable (on est descendu jusqu'à un poids inférieur à 50 kilogrammes), soit à l'automatiser trop complétement dans toutes ses fonctions, ce qui entraîne nécessairement une certaine complication d'organes.

Un appareil à la fois très-léger et assez complexe est nécessairement fragile et sujet aux réparations. Je crois qu'il vaut mieux qu'un perforateur soit *simple* et *robuste dans sa construction*, dût-on le mettre en chantier avec un peu plus de peine, et l'automatiser à un moindre degré, ce qui est au fond une infériorité plutôt *théorique* que *pratique*, ainsi que nous venons de le dire.

Entre ces divers appareils, on peut distinguer celui de M. Burleigh, qui a déjà reçu d'assez nombreuses applications en Amérique et en Angleterre, et qu'on essaye en ce moment aux travaux du Saint-Gothard.

Nous nous bornerons ici à indiquer l'appareil proposé en dernier lieu par MM. Dubois et François. Ce dernier, qui a longtemps suivi à l'usine de Seraing la construction des appareils de M. Sommeiller, a vu naître les divers perfectionnements dont ils ont été successivement l'objet; il en a connu et apprécié les motifs, et l'appareil qu'il a combiné, sans être peut-être la forme définitive que la pratique sanctionnera, me paraît, tout au moins, satisfaire, sous une forme relativement simple, aux conditions d'un bon fonctionnement. Moins long et à peu près aussi lourd que le perforateur Sommeiller, il a une masse percutante plus considérable, et bat moins de coups par minute, circonstances favorables à l'effet mécanique et à la conservation de l'appareil.

**(165)** Du reste, les données numériques principales qui caractérisent les appareils Sommeiller et Dubois et François (et dont la plupart sont extraites, ou déduites, d'un mémoire de M. Pernollet inséré au bulletin de la Société minérale de Saint-

Digitized by Google

Étienne, année 1873) peuvent être résumées dans le tableau ci-après :

| | PERFORATEUR | |
|---|---|---|
| | SOMMEILLER. | DUBOIS ET FRANÇOIS |
| Longueur totale de l'appareil.. . . . . | $2^m,98$ | $2^m,20$ |
| Poids de l'appareil complet sans le fleuret. . | $260^k$ | $220^k$ |
| Poids de la masse percutante. . . . . | $20^k$ | 32 |
| Diamètre du piston moteur. . . . . | $0^m,08$ | $0^m07$ |
| Surface postérieure du piston en centimètres carrés.. . . . . | 50,26 | 38,48 |
| Surface antérieure, la tige déduite. . . . . | 17,08 | 18,84 |
| Surface utile pour la percussion. . . . . | 33,18 | 38,48 |
| Pression motrice en atmosphères effectives. . | $4\frac{1}{2}$ | $4\frac{1}{2}$ |
| Course maximum du piston. . . . . | $0^m,25$ | $0^m,292$ |
| Nombre de coups par minute. . . . . | 250 | 150 |
| Nombre de tours du fleuret par 1'. . . . . | 10 | 20 |
| Pression totale sur le piston moteur. . . . . | $154^k$ | $179^k$ |
| Demi-force vive de la masse percutante au moment du choc.. . . . . | $38^{km},5$ | $51^{km}$ |
| Vitesse de la masse au même moment. . . . | $6^m,1$ | $5^m,6$ |
| Demi-force vive employée par minute pour produire la percussion. . . . . | $9625^{km}$ | $7625^{km}$ |
| Force correspondant en chevaux. . . . . | 2,1 | 1.7 |
| Volume total d'air dépensé par la machine pour un coup de fleuret.. . . . . | $1^{lit}.244$ | 1.569 |
| Soit par minute.. . . . . | $314^{lit}$. | 235 |
| Travail que peut produire ce volume d'air dépensé à $4\frac{1}{2}$ atmosphères. . . . . | $14466^{km}$ | 10936 |
| Nombre caractérisant l'effet utile de la machine considérée. . . . . | $\frac{9625}{14466} = 0.67$ | $\frac{7625}{10936} = 0.70$ |

(**166**) La figure 144 donne une idée du second de ces appareils, dans lequel la pression de l'air est directement employée, non-seulement à la percussion, mais encore à la rotation.

Employé d'abord dans les mines de Marihaie (province de Liége), on l'a récemment appliqué aux mines de Ronchamp (Haute-Saône), dans un grande galerie à travers bancs dont l'exécution était urgente. Il a fourni des résultats importants au point de vue de la rapidité de l'exécution, qui a été plus que doublée ; il aurait pu même, avec des ouvriers plus exercés, donner une certaine écono-

Digitized by Google

mie dans le prix de revient (réserve faite des dépenses de premier établissement des appareils installés pour la compression et pour la conduite de l'air).

L'outillage pour l'exécution du trou de mine et pour le curage est celui qu'on a indiqué ci-dessus pour les appareils Sommeiller.

On peut indiquer comme un artifice applicable à des terrains très-durs l'emploi de trous de mine profonds ($1^m$,70 à 2 mètres et plus), dans lesquels on met successivement deux charges de poudre, l'une au milieu, au-dessus d'un tampon formé d'une bourre d'argile très-fortement comprimée, l'autre au fond, après avoir enlevé ce tampon. On fait ainsi, avec un minimum de temps perdu en fausses manœuvres, un avancement plus considérable qu'avec une charge unique qu'on n'aurait pas pu placer aussi profondément.

(**167**) Les divers appareils et procédés dont il vient d'être parlé (nos 149 à 166) nous paraissent être ceux qu'on peut, dans la pratique des mines, recommander d'employer, ou au moins d'essayer très-sérieusement, lorsqu'il s'agira soit *d'augmenter la production* journalière de l'ouvrier, et par conséquent de réduire dans une certaine mesure, s'il se peut, le prix de revient, soit *surtout de hâter l'exécution* d'un percement donné.

Nous indiquerons ici, *mais seulement pour mémoire, comme ne se rapportant pas assez spécialement à l'objet que nous avons en vue :*

1° Un grand nombre de machines de terrassement qui ont été surtout inventées en Amérique, et dont on peut voir la description dans diverses publications, notamment dans le *Voyage dans l'Amérique du Nord*, de M. G. Lambert ;

2° L'emploi de la charrue, pour faire, avec la force des animaux, le travail qu'on fait à la pioche dans des terrains qui, bien qu'ébouleux, ont cependant une certaine consistance qui ne permet pas l'enlèvement immédiat à la pelle (ce système a été employé avec succès en Sibérie, dans l'exploitation de certaines alluvions aurifères ou platinifères) ;

3° Les dispositions qui ont été employées par MM. Borel et Lavalley.

Digitized by Google

pour faire les terrassements du canal de l'isthme de Suez, exécuté sous la direction de M. l'ingénieur Voisin ;

4° Diverses machines qui nous semblent, ou trop complexes, ou insuffisantes pour les roches dures que le mineur rencontre le plus habituellement, telles que l'appareil de M. le capitaine Beaumont, qui agit pour faire mécaniquement l'entaille circulaire et le trou central proposés par M. Berreins ; celui de M. Penrice, qui a pour objet de supprimer l'emploi de la poudre et de rendre le travail continu, sans autres arrêts que ceux que nécessite le remplacement des outils, en opérant avec des trépans distribués sur toute la section de la galerie, de manière à faire sauter la roche en éclats menus, susceptibles d'être rejetés mécaniquement à l'arrière de la machine ; celui de MM. Valauri et Buquet, qu'ils désignent sous le nom d'*excavateur*, et dont l'objet est de faire, au moyen d'un dispositif analogue à celui des nouvelles haveuses, une série d'entailles parallèles découpant des blocs faciles ensuite à détacher, etc., etc.

Nous pensons que l'exploitant de mines, soit pour ses travaux d'aménagement ou de préparation, soit pour son exploitation même, n'aura pas en général l'occasion, ni même, à vrai dire, la possibilité de s'outiller avec des engins aussi complexes et aussi encombrants, et qu'en ce qui concerne l'abattage, l'emploi des moyens mécaniques ne paraît pas devoir être étendu, *en général*, dans des limites plus larges que nous ne l'avons précédemment indiqué.

(**168**) Nous nous résumons, en définitive, en disant :

1° Que, s'il s'agit seulement d'*augmenter l'effet utile de l'ouvrier mineur*, on a quelque avantage à espérer des tentatives qui pourront être faites pour améliorer les conditions mécaniques de son travail, spécialement dans l'ordre d'idées indiqué aux n°s 147 et 149 à 152 ;

2° Que, s'il s'agit de *substituer à la force de l'ouvrier mineur celle d'un autre moteur agissant au chantier*, le moteur qui semble devoir être préféré, en général, est l'air comprimé ; et que cet air comprimé peut être appliqué avec de très-grands avantages, au point de vue de la quotité de la production ou de la rapidité de l'exécution, soit au travail des sous-caves, dans *les cas assez rares* (peut-être même exceptionnels en France) où les allures du gîte le per-

Digitized by Google

mettront, soit, *beaucoup plus couramment*, au percement des galeries au rocher, à l'aide de la poudre ou de la dynamite ;

3° Enfin, que l'importance de ces divers avantages ne peut être chiffrée d'une manière générale, parce qu'elle dépendra essentiellement des circonstances locales ; tout ce qu'on peut dire, c'est que cette importance s'accroîtra rapidement, pour les haveuses, à mesure que les couches exploitées seront *plus régulières dans leur allure*, et, pour les perforateurs, à mesure que les roches à traverser seront *plus dures*.

Digitized by Google

# CHAPITRE VII

## DU BOISAGE ET DU MURAILLEMENT COURANT DANS LES MINES

(**169**) Nous avons vu, au chapitre V, les procédés à l'aide desquels l'ouvrier mineur, proprement dit, exécute habituellement ses travaux souterrains, et au chapitre suivant, les tentatives diverses qui ont été faites, et qui se poursuivent encore, soit pour améliorer ces procédés, mécaniquement fort imparfaits, soit pour substituer à la force de l'homme celle d'un autre agent naturel.

De quelque manière que les excavations aient été pratiquées, même si elles ne sont pas appelées à une longue durée, elles ne peuvent pas ordinairement rester ouvertes, sans être convenablement consolidées et étayées.

Cette consolidation se fait, suivant les cas, soit au moyen de boisages, soit au moyen de maçonneries à pierres sèches ou à mortier de chaux et sable.

Nous parlerons successivement de ces deux modes, et nous terminerons par quelques données mécaniques qui leur sont applicables.

### § 1. — Du boisage.

(**170**) Le boisage est exécuté, tantôt par des ouvriers spéciaux auxquels on donne le nom de boiseurs, tantôt par les ouvriers mineurs eux-mêmes, le boisage de leur chantier étant alors un tra-

Digitized by Google

vail accessoire qui leur incombe. On peut suivre le premier système, lorsque le terrain est assez solide pour se tenir pendant un certain temps et permettre de boiser à loisir en arrière de l'avancement; on suit généralement le second, lorsque la consistance du terrain demande, au contraire, que le boisage succède immédiatement à l'abattage, de telle sorte que ces deux opérations ne puissent pas être considérées comme indépendantes l'une de l'autre. Le prix payé pour l'avancement comprend alors la pose du boisage, dont les matériaux sont d'ailleurs toujours fournis par la mine.

Quelquefois cependant, on alloue, par cadre ou par butte, une petite indemnité représentant à peu près la main-d'œuvre de la pose. On met ainsi l'ouvrier mineur en garde contre sa propre imprudence, qui pourrait le pousser à négliger de poser un bois nécessaire, pour ne pas se déranger de son travail d'avancement.

Cette tendance des ouvriers est telle, que la recommandation à leur faire, en les visitant à leur chantier, est, en général, de multiplier, et non d'épargner, les cadres ou les buttes, et qu'on doit toujours leur donner à discrétion les pièces de boisage qu'ils demandent, se bornant à contrôler la grosseur de ces pièces qu'ils exagèrent souvent.

On sait que les bois que l'on rencontre dans le commerce se classent ordinairement en quatre catégories, les bois durs, les bois résineux, les bois blancs et les bois fins.

On comprend dans les bois durs, les diverses variétés de chêne blanc, le chêne vert, le châtaignier, l'orme, le hêtre et le frêne.

Les bois résineux sont le pin, le sapin et le mélèze.

Les bois blancs sont le peuplier, le tremble, le bouleau, le charme, l'aulne, l'acacia.

Enfin, on range parmi les bois fins, le buis, le mérisier, le pommier, le poirier, le sorbier, le mûrier, etc.

Ces diverses essences ont chacune des qualités qui les désignent particulièrement pour certains usage déterminés.

Ainsi le chêne blanc est le bois de charpente par excellence, non-seulement à cause des dimensions des pièces qu'on en peut tirer, mais encore, et surtout, parce que ces pièces ont une grande solidité. Ce bois résiste bien au mauvais air des mines et aux intempéries.

Digitized by Google

Il a, lorsqu'il est entretenu constamment mouillé, une très-grande durée.

Le chêne vert, qui se trouve dans le Midi de la France, diffère du chêne blanc par ses moindres dimensions. Il est plus lourd et par là plus difficile à manier que le chêne blanc.

Le châtaignier peut acquérir de grandes dimensions, mais on l'exploite plus souvent à l'état de taillis assez jeune. Les branches obtenues sont souples et liantes ; les pièces de bois craignent le mauvais air et résistent assez mal aux intempéries ; elles résistent bien employées sous l'eau.

L'orme, le hêtre et le frêne sont des essences moins communes, en France, que le chêne ; elles donnent des pièces souples et flexibles, qui conviennent très-bien pour les emplois où elles doivent être courbées, soit temporairement, soit d'une manière permanente.

Les bois résineux se distinguent, en général, par la forme élancée et la grande hauteur du tronc et par leur faible densité. Ils peuvent fournir ainsi, soit des pièces de charpente à grande portée, soit des pièces courtes, très-droites, très-légères, et ainsi très-bien appropriées au boisage des mines.

Le pin est en même temps résistant, et durable dans les mines, toutes les fois que l'air n'est pas trop chaud ou trop vicié, et particulièrement lorsqu'on peut tenir les pièces constamment mouillées.

Le sapin, avec lequel le pin ne doit pas être confondu, et qui, dans l'ensemble des massifs forestiers de l'Europe, forme certainement l'essence la plus répandue (principalement la variété *Épicea*), est remarquable par les grandes dimensions sous lesquelles on le rencontre dans le commerce. Il doit être considéré comme donnant un bois très-inférieur au bois de pin, sous le rapport de la solidité et de la résistance au mauvais air et aux intempéries.

Le mélèze, qui d'ailleurs ne se rencontre en abondance que dans un nombre restreint de localités, donne un bois qui est considéré comme ayant, au moins au même degré que le bois de pin, les qualités reconnues à ce dernier.

Les bois blancs sont, en général, peu solides et peu durables ; on ne pourrait guère les employer comme bois de mines, mais débités

Digitized by Google

en planches, leur mollesse même fait qu'ils résistent assez bien aux chocs.

Le peuplier, le tremble et le bouleau ont à peu près les mêmes propriétés.

L'acacia a une propriété caractéristique, celle de résister très-bien, mieux même que les bois durs, au mauvais air des mines. On en a fait l'expérience, en mettant des cadres alternatifs de bois de chêne et de bois d'acacia dans des galeries chaudes et sèches imparfaitement ventilées, où les pièces de chêne s'altéraient en quelques mois, et l'on a vu que les cadres d'acacia étaient encore très-sains, lorsque ceux de chêne étaient déjà entièrement hors de service.

L'aulne est excellent sous l'eau, ou lorsqu'il est enfoui dans un terrain humide. Il donne des pièces bien droites, faciles à travailler.

Le charme est caractérisé par un grain fin et serré, et forme ainsi le passage des bois blancs aux bois fins.

Ces derniers, que l'on nomme aussi bois de machines, sont essentiellement propres, par la finesse de leur grain, à recevoir le travail du tour. On les emploie pour former les pièces frottantes dans les machines, ou même les supports fixes qui demandent à être travaillés avec précision. Ces bois n'ont pas d'intérêt au point de vue qui nous occupe ici, et, au besoin, une pièce de cœur de chêne bien choisie peut les remplacer dans tous leurs emplois spéciaux.

**(171)** En nous arrêtant aux diverses applications qui peuvent être du ressort de l'ingénieur des mines, nous nous résumerons de la manière suivante :

1° Le chêne blanc aura son emploi, à l'état de pièces équarries, dans les charpentes de bâtiments, les supports de machines, les pièces de cuvelage, et à l'état de rondins, dans le boisage courant des mines ;

2° Le chêne vert ne sera guère employé qu'à l'état de rondins, pour le boisage, ou encore, en le débitant par la fente en pièces de dimensions appropriées, à l'état de manches d'outils ;

3° Le châtaignier, exploité à l'état de taillis, pourra être employé à faire des paniers de mine et des manches d'outils ;

4° L'orme pourra être accidentellement employé, comme le chêne,

Digitized by Google

à faire des cadres de boisage, son emploi habituel et spécial étant toutefois dans la construction des véhicules qui servent aux transport, pour former les jantes et les raies des roues. Il reçoit aussi assez bien le travail du tour ;

5° Le hêtre convient surtout, à cause de sa flexibilité, pour toutes les pièces qui doivent recevoir une certaine courbure ;

6° Le frêne, comme bois essentiellement fort et souple, très-propre à résister aux flexions accidentelles, servira à faire les brancards ou les flèches des voitures ; c'est par la même raison qu'il sera employé, de préférence à tout autre bois, pour les manches d'outils ;

7° Le pin doit être considéré comme *le bois de mine par excellence*, donnant des pièces convenablement résistantes et durables, plus régulières de forme et plus légères, par suite plus faciles à manier que les pièces en chêne. Mais comme bois de charpente plus ou moins exposé aux intempéries, il ne résiste pas comme le chêne. On peut cependant l'employer pour les chevalements portant les molettes des puits d'extraction. Ces charpentes peuvent, plus facilement qu'avec des pièces de chêne, recevoir une grande hauteur ; mais elles seront moins durables, quelque soin que l'on prenne pour leur conservation ;

8° Le sapin est d'un emploi très-commode pour les charpentes légères, à grande portée. C'est en outre un bois très-employé en planches, pour les détails de la menuiserie d'un bâtiment, pour les caisses de wagon, pour les canards, ou caisses d'aérage, etc., etc. Il est peu apte au boisage des mines, quoiqu'il y soit employé dans les localités où il abonde.

9° Les bois blancs sont essentiellement employés en planches, pour former les caisses des wagons ou des brouettes, les caisses d'emballage, les canards. Ils sont très-bons pour ces usages spéciaux ; faciles à comprimer et susceptibles, en quelque sorte, de se mouler sur le pourtour des ouvertures dans lesquelles on les force, ils conviennent très-bien pour former les planches, les coins et les premiers picots que l'on emploie dans les travaux de cuvelage dont il sera parlé plus loin. L'acacia, en particulier, a un emploi spécial dans les gournables, ou grosses chevilles, servant à l'assemblage des bois dans la construction des navires ; il ferait aussi un excel-

Digitized by Google

lent bois de mine, mais il n'est pas habituellement assez répandu pour qu'on ait à l'employer sous cette forme.

10° L'aulne est employé dans les pilotis; facile à forer dans le sens de la longueur, il sert à former des tuyaux de pompe et des tubages définitifs de puits artésiens.

11° Le charme est employé pour former des chapes de poulies, des canes ou des mentonnets de bocards, etc.

12° Enfin, les bois fins formeront des coussinets pour tourillons, des dents d'engrenage, des vis, et en général des pièces qui, devant être soumises à des frottements, ont besoin de présenter un grain fin susceptible d'une sorte de poli.

Nous retenons de cette énumération qu'au point de vue qui nous occupe, celui *du boisage des mines*, on aura des buttes en chêne blanc dans la plupart des mines du nord de la France, en chêne vert dans le Midi, en pin dans diverses localités du Midi et du Centre.

(**172**) Les bois de mine se trouvent dans le commerce, et il est rare qu'une mine ait à acheter une coupe sur pied.

Dans un tel cas, il y aurait à évaluer, en quantité et en prix, ce que pourrait fournir la coupe, en bois d'œuvre, en bois propre à l'usage de la mine, rondins et perches, et en produits accessoires, bois de chauffage, bois à carboniser, fagots, écorces, etc., etc. Cette évaluation demande des connaissances spéciales, qui sont toutes du domaine du forestier, et dans le détail desquelles nous ne pouvons entrer ici.

Le plus habituellement, l'ingénieur d'une mine n'a pas à s'en occuper, et il se borne à acheter les bois dont il veut faire usage, soit au stère, soit à la tonne, soit, plus souvent, au mètre courant, en stipulant pour les rondins un certain diamètre minimum au petit bout, ces rondins étant, ou *de toute longueur*, ou débités à l'avance sur la longueur *unique* ou sur les quelques longueurs dont il a l'emploi dans les diverses couches exploitées.

Le mode d'achat et les prix varient dans une assez large mesure, et ces prix ont, en général, tendance à augmenter, par suite de la rareté croissante de la matière.

Digitized by Google

On ne peut que citer ici quelques exemples :

Les bois en grume, destinés à être débités pour former des charpentes, se payeront 25, 30, 40 francs le mètre cube, et vaudront, après débit et façon, 60, 80, 100 francs et plus, suivant les dimensions et la qualité.

Dans ces dernières années, on a payé jusqu'à 150 francs les pièces de premier choix et sans défaut, destinées à des cuvelages.

Les rondins pour bois de mine se payent 18 à 20 et 25 francs les 1000 kil.

Le prix du mètre courant varie, suivant la grosseur, depuis $0^{f},15$ pour les simples perches, jusqu'à 1 franc les grosses buttes ayant $0^{m},20$ à $0^{m},25$ au petit bout. — Un prix moyen de $0^{f},60$ par mètre courant est assez ordinaire.

Dans quelques localités, on achète les bois ronds *au cinquième déduit*, c'est-à-dire en estimant la section par une formule empirique qui, déduction faite du cinquième, donne à peu près exactement la section de la pièce équarrie que le rondin pourra fournir. Pour cela, on mesure avec une ficelle la circonférence, $c = 2\pi r$, au milieu du rondin, on en prend le quart, et on élève au quarré.

La quantité calculée est $\left(\frac{1}{4}.2\pi r\right)^2 = \frac{\pi^2 r^2}{4}$, dont les $\frac{4}{5}$ sont $\frac{1}{5}\pi^2 r^2 = 1,97 r^2$, quantité sensiblement égale à $2r^2$, surface du quarré inscrit dans le cercle de rayon $r$.

Les bois sont livrés soit avec leur écorce, soit écorcés. Le second système est préférable pour leur conservation, et ne diminue nullement leur force.

(**173**) L'achat des bois se fait souvent à des époques déterminées de l'année, et, par conséquent, beaucoup restent assez longtemps sans emploi.

Ils doivent donc être emmagasinés, et des précautions doivent être prises pour en assurer la conservation.

Le magasin aux bois est, s'il est possible, un local couvert et bien aéré. S'il est à découvert, il doit être de préférence exposé au nord ; il convient que le sol en soit pavé et légèrement incliné, pour faci-



Digitized by Google

liter le prompt écoulement des eaux de pluie. Les gros bois sont empilés, posés sur des chantiers ; les perches posées debout.

Les parties de bois qui sont exposées à rester longtemps en magasin sont à remanier de temps en temps, en prenant soin d'écarter toutes les pièces qui commencent à s'altérer ; on recommande, en général, d'employer ces pièces dans l'ordre de leur ancienneté, et de terminer entièrement une pile avant de passer à la suivante.

Le débit des pièces, si elles ne sont pas arrivées à la mine coupées de longueur, doit se faire à l'aide de la scie plutôt que de la hache, et en commençant toujours par le gros bout, afin de diminuer l'importance des déchets.

L'opération doit se faire en dehors du magasin, ou du moins on doit écarter avec soin des piles de bois, les éclats et les sciures qui en résultent.

Cette précaution est utile, pour prévenir un commencement d'altération auquel ces déchets sont sujets lorsqu'ils restent longtemps entassés, et qui se communique facilement des parties avariées aux parties saines.

Une fois employés dans la mine, les bois s'altèrent beaucoup plus vite qu'en plein air. On a remarqué que l'altération se produit surtout dans les galeries de retour d'air, situées à l'amont-pendage d'un champ d'exploitation, qui reçoivent l'air chaud et vicié ayant circulé dans les travaux, et dont les parois, drainées en quelque sorte par les vides de l'exploitation située en contre-bas, ne laissent pas suinter d'eau.

L'altération, qui est attribuée à une sorte de fermentation de la séve, se manifeste à la surface des bois par des moisissures ayant une apparence cotonneuse facile à reconnaître. En même temps, le bois perd de plus en plus sa consistance, et une pointe de métal qu'on y enfonce à la main, y pénètre facilement jusqu'au cœur. Cette altération a un caractère *éminemment contagieux*. Les houppes cotonneuses développées sur une des pièces d'un cadre de boisage, envahissent rapidement les autres pièces de ce cadre ; elles se propagent également d'un cadre à l'autre, soit en suivant les bois de garnissage, soit même, comme on peut souvent le constater, en s'étendant sur le rocher.

Digitized by Google

Dans certains cas, il arrive que des cadres sains, posés en remplacement dans des galeries ainsi infestées, ne résistent qu'un petit nombre de mois.

On ralentit le développement de cette maladie, qu'on appelle la carie sèche, en n'employant que des bois coupés en bonne saison, c'est-à-dire à la fin de l'automne, ou en hiver, plutôt qu'au printemps, ou en été, et toujours de préférence dépourvus de leur écorce.

On y parvient également par une ventilation active, qui a d'ailleurs bien d'autres avantages, et qui devient chaque jour plus importante, à mesure que, suivant la tendance actuelle, on augmente la production individuelle des mines.

Enfin, on a observé que dans les puits de mine traversant des terrains aquifères, les cadres en chêne et en pin, ont en général une longue durée; ce qui a suggéré l'idée de reproduire artificiellement les mêmes circonstances dans des terrains non aquifères, en établissant dans un des angles du puits, un petit tuyau métallique percé de trous capillaires qui projettent continuellement une sorte de pluie fine sur les divers cadres du boisage.

(**174**) On sait d'ailleurs qu'on a des moyens préservatifs pour les bois de charpente :

On les revêt d'une peinture à l'huile ou au goudron, non-seulement sur les parties qui doivent rester apparentes, mais encore, et surtout, sur les abouts, avant la pose.

On les injecte avec du sulfate de cuivre, ou quelque autre matière septique, suivant le système du docteur Boucherie.

On carbonise partiellement les extrémités des pièces qui doivent être encastrées dans le sol.

On flambe même les bois sur toute leur surface, en y promenant, avec une lance mobile, la flamme d'un bec de gaz, suivant le procédé de M. de Lapparent, ou, à défaut de gaz disponible, en promenant la pièce elle-même devant le jet de flamme qui sort par le bec d'une sorte de cornue, à l'intérieur de laquelle on brûle de la houille, suivant la modification proposée au système de M. de Lapparent par M. Hugon.

Digitized by Google

Ces divers procédés de conservation, qui prennent, pour certaines applications industrielles, une grande importance (par exemple pour les traverses de chemin de fer et pour les poteaux télégraphiques), ont été jusqu'ici *peu appliquées* aux bois de mines ; elles y sont même, on doit le dire, *peu applicables*, du moins pour le boisage courant des chantiers, qui forme la majeure partie de la consommation d'une mine ; car les bois ainsi employés périssent, le plus souvent, par rupture, longtemps avant l'époque où la pourriture les mettrait hors de service.

(**175**) Ce boisage courant emploie principalement des rondins, ou buttes, ayant rarement moins de 8 à 10 centimètres et plus de 25 de diamètre ; on emploie également, pour former les semelles des cadres, des pièces demi-rondes obtenues en refendant en deux les plus gros rondins.

On désigne sous le nom de *perches* des rondins de petit diamètre et d'une longueur de quelques mètres, dont les plus gros sont débités en buttes, et les autres employés, sous le nom de *rallonges*, pour soutenir le toit parallèlement au front de taille. Ces lignes de rallonges sont reliées les unes aux autres par des *esclimbes*, ou *bois de reliement*, qu'on obtient en refendant en deux ou en quatre les extrémités des perches impropres à être utilisées comme rallonges. Enfin, dans les houillères où le toit des couches est très-déliteux et susceptible de s'effeuiller, en quelque sorte, en petits fragments, on a soin d'intercaler, entre lui et les esclimbes, les *veloutes* qui sont, ou des faisceaux de menus branchages, ou même des espèces de petits paillassons fabriqués spécialement pour cet usage, qui tapissent le toit d'une manière en quelque sorte continue, et empêchent les chutes des petits fragments qui viendraient salir le charbon abattu.

On emploie encore, pour garnissages, soit des branches de pin isolées ou réunies en petits fagots, soit des croûtes, dosses, ou écoins, obtenus dans le sciage des bois que l'on débite en planches, soit, dans certains cas, ces planches elles-mêmes, lorsque le garnissage, derrière les cadres, doit être assez exactement fait pour empêcher les terrains de couler.

Digitized by Google

**(176)** Nous avons dit que les bois que le magasin fournit à la mine, sont livrés par pièces débitées à la scie, sur la longueur que réclame l'usage auquel chaque pièce est destinée. Le boiseur qui doit les mettre en œuvre n'a pas habituellement d'autre outil spécial que sa hache.

Cet outil, représenté fig. 145, est d'un poids de 2 kilos à $2^k,5$. Il porte, d'un côté, un tranchant qui n'est pas tout à fait parallèle au manche, afin de faciliter sa pénétration dans le bois, et de l'autre une tête avec laquelle le boiseur frappe sur les bois pour les mettre en position. La hache ne varie guère que par la longueur du manche, selon la hauteur des chantiers où l'on travaille. Ce manche doit être en frêne, et obtenu en refendant le bois pour qu'il soit bien dans le sens des fibres. C'est là l'outil spécial au boiseur, qui doit d'ailleurs être familier avec le pic, et savoir également faire, au besoin, un coup de mine, pour préparer l'emplacement de ses cadres.

Les assemblages façonnés avec la hache sont évidemment rudimentaires, et se bornent à une superposition des surfaces; l'instrument exclut les tenons et mortaises et, en général, les joints opérant par pénétration d'une pièce dans l'autre.

Quelque simple que soit ce travail, le boiseur doit cependant se conformer à quelques principes, qui ne sont, au fond, autre chose que l'application des notions les plus élémentaires sur la résistance des matériaux, et qu'il est bon de rappeler ici sommairement.

Une pièce de boisage doit, en général, résister, soit à un effort longitudinal, qui tend à produire la rupture par écrasement, soit à un effort transversal, qui tend à la produire par flexion.

Dans le premier cas, on fera en sorte que l'effort longitudinal intéresse tous les points de la section transversale d'une manière à peu près uniforme et dans une direction bien normale à cette section ; si les pièces sont longues et peuvent fléchir, on augmentera matériellement leur résistance en les entre-toisant convenablement, soit d'un cadre à l'autre, soit d'un montant à l'autre d'un même cadre.

Dans le second cas, on diminuera, autant que possible, la portée

Digitized by Google

de la pièce, et on tâchera de réaliser l'équivalent d'une sorte d'encastrement plus ou moins complet de ses extrémités.

Dans l'un et l'autre cas, on veillera à la stabilité de la pièce, en la plaçant dans des conditions telles que, si l'on supposait un petit mouvement du terrain dans le sens auquel le boisage a pour objet de résister, le résultat de ce petit mouvement fût de serrer les assemblages et d'augmenter la charge des pièces. C'est ainsi, par exemple, qu'une butte qui est destinée à soutenir le toit d'une grande taille, dans une couche faisant un *angle* $\alpha$ avec le *plan horizontal*, doit faire, quand elle est en place et en serrage, *le même angle* $\alpha$ avec *la verticale*, ou plutôt un angle *tant soit peu inférieur à l'angle* $\alpha$.

(**177**) Les principes ci-dessus sont généralement admis par tous les mineurs. Mais il est une question plus controversée, sur laquelle des opinions diverses, et même contradictoires, sont émises par des personnes compétentes.

Cette question est la suivante :

Doit-on, lorsque l'on boise une galerie, faire de suite un boisage définitif; puis le surveiller une fois qu'il est en place, avoir soin de le tenir toujours en bon état d'entretien, réparer les cadres qui viennent à être rompus par la pression, faire les redoublements dès qu'ils paraissent nécessaires? etc.; ou bien doit-on, au contraire, considérer le premier boisage comme une œuvre provisoire, appelée à durer un temps limité, pendant lequel il ne sert qu'à empêcher des éboulements qui viendraient obstruer la galerie; puis, quand un premier mouvement s'est produit dans le terrain, comme conséquence de l'ouverture de cette galerie, lorsque, par exemple, le toit s'est affaissé, ou que le sol a remonté, ou que les deux effets se sont produits simultanément, que le terrain a, comme on dit, *donné coup*, en brisant le boisage provisoire, faut-il alors, *et seulement alors*, en venir à un boisage solide et définitif?

Les deux systèmes ont leurs partisans, et je pense que les uns et les autres sont dans le vrai, au point de vue particulier où ils se placent; en d'autres termes, l'un ou l'autre des deux systèmes mérite la préférence, selon les circonstances.

Digitized by Google

Ainsi, par exemple, si l'on est dans une roche solide, homogène, ne se délitant pas au contact de l'air, et n'ayant pas une tendance à pousser un vide qui s'accroisse avec le temps, le premier boisage doit être fait de suite assez solide, mis en serrage définitif et soigneusement entretenu. On s'oppose ainsi à un premier mouvement, qui tend à s'accentuer de plus en plus, si on l'a d'abord laissé se produire.

On est, en un mot, dans le cas d'application du premier système.

Au contraire, si ce premier mouvement est *irrésistible*, et doit forcément se produire, comme, par exemple, dans le cas d'une galerie que l'on réserve au milieu des remblais, pour aboutir à des tailles en exploitation, il y a lieu, pensons-nous, d'appliquer le second système.

Il est clair, en effet, dans le cas considéré, que des remblais ne peuvent être tout d'abord mis en serrage suffisant pour empêcher un affaissement général du toit, et qu'ils ne commencent même à être efficaces que lorsqu'ils se sont déjà comprimés sous cet affaissement. Il serait inutile de chercher à empêcher ce premier mouvement par un boisage, quelque fort qu'il fût. On se bornera donc d'abord à un boisage léger, qui n'a d'autre objet que de soutenir les plaques de rocher qui tendraient à se détacher du toit ; puis quand l'affaissement s'est produit, que les remblais se sont tassés et que le toit a pris sur ces remblais une position définitive, les montants légers des cadres, qui se sont rompus pendant cet affaissement, peuvent être remplacés; quelquefois même ils peuvent être supprimés, et la galerie rester sans boisage, si les murs de remblai sont bien faits, et si le faux toit de la couche est tombé, laissant en couronne un toit solide.

C'est en ayant égard aux observations précédentes, et en s'inspirant d'ailleurs de l'expérience locale, que l'ingénieur d'une mine aura à décider dans quel esprit devra être conduit le premier boisage d'une galerie donnée.

Telles sont les généralités que nous croyons devoir présenter sur un objet qui mérite toute l'attention de l'ingénieur, non-seulement parce que la sécurité de ses hommes y est intéressée, mais aussi

Digitized by Google

parce que le boisage est souvent, pour une mine, la source de très-grandes dépenses, sur le chiffre desquelles une bonne direction peut exercer une très-utile influence.

Nous ajouterons, à ces indications générales, quelques détails sur les cas qui se présentent le plus ordinairement dans la pratique de l'exploitation.

(178) **Boisage d'une taille ou d'un chantier de dépilage.** — Dans la plupart des méthodes d'exploitations appliquées aux couches, ainsi que nous le verrons plus loin, on pousse des chantiers, ou tailles, plus ou moins larges, le long desquels on soutient provisoirement le toit par un boisage sur une certaine largeur, tandis qu'en arrière, suivant les cas, on le laisse simplement ébouler, ou bien on le soutient définitivement par des remblais, au milieu desquels on ménage, s'il y a lieu, les passages nécessaires à la circulation.

Le boisage le plus simple, dans le cas d'un toit généralement bon, se compose de *buttes*, ou *chandelles*, dites aussi *bois de tailles*, ou *piquets*, que l'on pose sur les points, où, en sondant avec la masse, on reconnaît, à la nature du son, que l'adhérence des premières couches du toit n'est pas parfaite. La butte doit être coupée de longueur telle qu'on ne puisse l'amener en place, c'est-à-dire dans une situation *à peu près normale à la couche* (voir n° 176), qu'en la frappant à grands coups de masse, ou avec le dos de la hache.

L'emplacement de son pied est fait en creusant légèrement au pic, soit pour aller chercher le rocher solide, soit pour augmenter l'adhérence sur le mur quelquefois très-lisse et très-glissant de la couche.

D'autrefois, on la pose sur un petit tas de menu, qui est ou bien recouvert d'un bout de planche ou d'écoin, pour répartir la pression sur une large surface, ou bien entouré d'un anneau en fer, pour empêcher ce menu de céder en s'étalant, sous l'action de cette pression.

On interpose un autre bout d'écoin entre le sommet de la butte et le toit, et on l'amène en place comme il vient d'être dit, à coups de masse, de manière qu'elle ait immédiatement un serrage convenable (voir *fig.* 146 et 147).

Une telle butte n'est, en général, en place qu'un petit nombre de

Digitized by Google

jours. En principe, on l'enlève, ou du moins on cherche à l'enlever, au fur et à mesure que l'avancement de la taille le permet, soit pour laisser ébouler le toit, soit pour la remplacer par du remblai, comme il vient d'être dit.

Le petit tas de menu est commode, d'abord en ce qu'il donne au système une certaine élasticité, qui permet au toit de commencer à s'affaisser sans entraîner nécessairement la rupture de la butte, ensuite en ce qu'il rend l'enlèvement de cette butte plus facile. En effet, en venant gratter ce menu avec la pointe du pic, ou en faisant sauter l'anneau d'un coup de marteau, on produit un déserrage suffisant, qui permet d'abattre la butte d'un coup de masse, et de la reprendre pour un nouvel emploi.

Le plus habituellement, au lieu de buttes posées irrégulièrement, selon les besoins, on les place parallèlement au front de taille à des distances variables de 1 mètre à 3 mètres l'une de l'autre, formant des lignes distantes d'une quantité égale à l'avancement journalier de la taille.

Chaque jour, on place une nouvelle rangée de buttes, soit contre le front de taille, soit à une petite distance de ce front, et l'on déboise, en arrière, la ligne qui doit cesser de soutenir le toit, soit qu'on la remplace par des remblais, soit qu'on la laisse simplement s'ébouler.

Une même butte peut ainsi servir plusieurs fois, sauf celles qu'une trop grande pression du toit, ou un éboulement imminent peut obliger à laisser en place. Dans ce cas, lorsqu'on procède par éboulement, on l'affaiblit à coups de hache, de manière à faciliter et à accélérer son écrasement, l'expérience montrant, d'accord avec le raisonnement, que la pression diminue sur le front de taille, lorsque l'éboulement suit régulièrement en arrière, sans laisser surplomber le toit sur une trop grande largeur.

(179) Cette possibilité de remploi de la même pièce permet, avec des couches bien réglées, dans les pays où le bois est rare et cher et où la fonte est à bas prix, comme en Angleterre, de substituer aux rondins en bois, des espèces de petites colonnes en fonte, d'une hauteur appropriée à la puissance de la couche exploitée. Ces pièces

Digitized by Google

peuvent être pleines, avec une section analogue à celle d'une bielle en fonte, ou bien être creuses et à section circulaire, comme une sorte de tuyau.

Les deux dispositions sont également usitées en Angleterre. Pour faciliter leur desserrage, quand on veut les déplacer, on peut les composer de deux pièces réunies l'une à l'autre par un bout de chaînette, et qui s'appuient l'une sur l'autre par un joint légèrement oblique, maintenu par une bague circulaire. Il suffit de faire lever cette bague d'un coup de marteau pour que la pièce supérieure, ou tête, puisse glisser sur le plan du joint oblique. Les deux pièces tombent sur le sol, et on les enlève à la fois. Cette disposition est représentée figure 148.

On remarquera que ces pièces de fonte pourraient être employées plus souvent qu'elles ne le sont, surtout dans les mines qui sont des dépendances d'usines à fer ; car, en cas de rupture d'une telle pièce, on n'en perd que la façon, la matière même trouvant son remploi dans l'usine.

(**180**) On peut aussi substituer aux buttes ordinaires, des pièces de bois creuses, convenablement frettées et munies d'une grosse vis butante qui les met en serrage contre le terrain.

Ces pièces de bois, nommées boîtes, servent, dans certaines mines du département du Nord, à soutenir le toit en arrière des tailles. Elles sont journellement déplacées, et reportées en avant à une petite distance du front de taille. Ces buttes ont une hauteur inférieure de 25 à 30 centimètres à la hauteur de la couche. Elles sont recouvertes d'une rondelle en fer percée d'un trou central qui laisse passer une vis en acier à filet carré, d'un diamètre de 5 à 6 centimètres. Cette vis, munie d'une tête rectangulaire, est mise en mouvement à l'aide d'un écrou placé sur la rondelle, qu'on manœuvre à l'aide d'une longue clef. Cette manœuvre fait sortir la vis et la force à s'appliquer fortement contre le toit, ou plutôt contre un long plateau formant garniture. La butte elle-même repose sur un autre plateau de 5 à 6 centimètres d'épaisseur, taillé circulairement au diamètre de la butte, ou à un diamètre un peu plus grand.

Cette disposition assure au système une certaine élasticité favo-

Digitized by Google

rable à sa conservation, lorsque le toit exerce une pression très-forte.

La figure 149 représente l'ensemble et les détails de l'outillage décrit ci-dessus.

Imaginé par M. Dermoncourt, ingénieur attaché à la Cᵉ d'Anzin, il ne s'est pas jusqu'ici répandu dans les autres mines, bien qu'il semble devoir présenter quelque avantage.

Pour qu'il soit efficace et d'un emploi commode, il paraît demander un assez bon toit, et une couche assez rapprochée de la position horizontale.

(**181**) Lorsque des buttes isolées ne suffisent pas pour soutenir le toit qui tend à s'égréner par petites parties, ces buttes, au lieu de s'appuyer directement contre ce toit, sont entaillées par le haut en gorge de loup, et supportent les *rallonges* qui vont d'une butte à l'autre parallèlement à la taille.

Entre le toit et les rallonges, on insère les bois de garnissage, ou esclimbes, dont les extrémités sont logées provisoirement dans des excavations, faites à l'aide du pic à la partie supérieure du front de taille, jusqu'à ce qu'on puisse soutenir ces extrémités par une nouvelle ligne de rallonges; enfin, si ces garnissages ne sont pas suffisants, eu égard à la nature déliteuse du toit, les veloutes sont placées contre le toit avant d'enfoncer les garnissages (voir n° 175).

On emploiera, par exemple, des bois de taille ayant $0^m,10$ à $0^m,20$ de diamètre et une hauteur égale à la puissance de la couche, des rallonges ayant 3 mètres de longueur et au plus $0^m,08$ à $0^m,10$ de diamètre, et des garnissages de 4 à 5 centimètres sur $1^m,20$ de longueur, pour un avancement journalier de $0^m,80$ à $0^m,90$.

Ce système de boisage est représenté figure 150, pour une couche en plateur, et figure 151, pour une couche en dressant. La dernière figure représente, en outre, les galeries inférieure et supérieure, qui servent, la première au roulage, la seconde au retour d'air.

Ce système est employé dans beaucoup de houillères du nord de la France et de Belgique. Il est nécessaire avec des toits schisteux et ébouleux, pour obtenir le charbon suffisamment propre.

Digitized by Google

Il est pratiqué avec beaucoup d'adresse et d'intelligence par les mineurs du pays, qui parviennent ainsi à exploiter, avec profit, des couches qui, dans beaucoup d'autres bassins, seraient jugées inexploitables.

On remblaye en arrière de ces chantiers, et on laisse le bois entièrement dans les remblais.

On doit se représenter qu'on peut avoir, selon la nature du toit, toute espèce de nuances, entre un boisage se bornant à quelques buttes isolées jusqu'au boisage très-complet qui vient d'être décrit en dernier lieu.

(**182**) **Boisage d'une galerie ordinaire.** — Une galerie de mine comporte, pour son soutènement, non pas l'emploi de buttes, mais celui de ce qu'on appelle *des cadres*. Un cadre de boisage complet se compose d'une *semelle*, de deux *montants* et d'un *chapeau*.

La semelle est ordinairement un bois demi-rond obtenu, en fendant ou en sciant les plus gros rondins. La face plane est posée sur le sol.

Les deux montants reposent sur le dos de la semelle convenablement entaillée. Leur plus gros bout est à la partie supérieure. Ils sont placés légèrement inclinés, de manière à donner au cadre une section trapézoïdale, qui augmente la stabilité du cadre et diminue la portée du chapeau, sans préjudice pour la largeur utile de la galerie. L'entaille par laquelle le chapeau repose sur les montants est disposée de manière que la pression du chapeau intéresse la totalité de la section des montants.

Le cadre est mis en serrage par des garnissages insérés entre les pièces du cadre et le terrain, particulièrement au-dessus du chapeau.

Les figures 152 représentent ces dispositions qui sont l'application des règles posées ci-dessus (n° 176). Ces cadres sont placés, selon les besoins, à des distances qui varient habituellement entre $0^m,50$ et 2 mètres.

(**183**) Le cadre ci-dessus décrit est, en quelque sorte, le *cadre normal*; il est susceptible d'un grand nombre de variantes, selon les

Digitized by Google

dimensions de la galerie, et selon les intensités et les directions des poussées auxquelles on suppose que l'on aura à résister.

Citons quelques exemples :

Une galerie très-haute, ayant par exemple $2^m,50$ de hauteur, peut être divisée en deux parties par des *tendards* placés horizontalement, qui serviront, soit à renforcer les montants, soit à former, au-dessus ou au-dessous de la partie réservée à la circulation, un compartiment pour la ventilation ou pour l'évacuation des eaux (*fig.* 153).

Ces tendards sont entaillés en gorge de loup à leurs extrémités, et doivent être coupés de longueur telle qu'ils soient en charge lorsqu'ils sont à la hauteur voulue. On complète, au besoin, cette mise en charge par un calage convenable, et on arrête les pièces à leur hauteur à l'aide d'un petit gousset en bois, fixé au dessous par un ou deux clous. Le dessus de ces tendards recevra une cloison étanche, si le compartiment supérieur doit être un retour d'air, une simple planche sur laquelle on circule, si le compartiment inférieur est employé à l'écoulement des eaux (voir les *fig.* 153 précitées).

Une galerie très-large, dans laquelle on veut, par exemple, poser une double voie de petit chemin de fer, peut être divisée en deux par une série de chandelles, portées sur le milieu des semelles et soutenant le milieu des chapeaux. Elles doivent être entaillées et mises en charge comme on vient de le dire pour les tendards. (*fig.* 154).

Dans une galerie fortement inclinée, où les cadres sont placés à peu près perpendiculairement à l'axe, il pourra être utile de les maintenir dans leurs positions relatives, et de prévenir l'effet d'un desserrage accidentel dû à quelques mouvements du sol, en reliant les montants des cadres consécutifs par quelques écoins ou madriers cloués simplement sur ces pièces.

Il arrive très-souvent que la nature du terrain permet de supprimer la semelle et de ne composer le cadre que des deux montants et d'un chapeau.

Si l'une des parois est solide, tandis que l'autre à une tendance à pousser au vide, on peut n'avoir qu'un montant et un chapeau. Le chapeau est simplement encastré dans la paroi solide sur une profondeur de quelques centimètres, et le montant est placé sur la paroi

Digitized by Google

opposée. L'assemblage du montant aura l'une des deux formes n° 1 et n° 2, représentées figure 155, selon que la pression sera supposée devoir venir principalement *du dessus*, ou bien *de côté*.

Si les deux parois sont solides, on peut se contenter d'un simple chapeau encastré, comme il vient d'être dit, dans chacune des deux parois.

Ce dernier cas se présente fort souvent dans l'exploitation des filons. Lorsque les épontes sont solides, et qu'une galerie d'allongement occupe toute l'épaisseur du filon, les parois peuvent rester à nu, tandis que le toit de la galerie doit recevoir un boisage, soit immédiatement si le gîte lui-même est peu solide, soit au moins lorsque le gîte vient à être exploité en amont de la galerie et à être remplacé par des remblais. Ces remblais sont alors portés sur les chapeaux recouverts d'un garnissage approprié qui empêche leur tamisage.

Ces chapeaux sont placés *à peu près* perpendiculairement au plan du gîte, dans des encastrements dont la profondeur dépend de la solidité des épontes, et dont l'un a une entrée disposée pour mettr la pièce en place, et pour la coincer par le bout, de manière à la roidir, et à produire ainsi un quasi-encastrement qui tend à augmenter sa résistance à la flexion (voir *fig.* 156).

(**184**) Le système de boisage qui vient d'être décrit s'applique à des terrains suffisamment solides pour que la galerie puisse être creusée d'abord, et ensuite boisée en arrière de l'avancement, sans qu'il y ait une solidarité marquée, ou même avec une indépendance complète, entre le travail du mineur et le travail du boiseur.

Il n'en est pas toujours ainsi, et l'on peut avoir à traverser des terrains inconsistants à divers degrés, depuis ceux qu'on rencontrera, par exemple, pour franchir un éboulement dans un rocher primitivement solide, jusqu'aux terrains *coulants*, presque *fluides*, formés de matières arénacées à grains fins, fortement imprégnées d'eau.

L'esprit de la méthode à suivre, dans des cas semblables, est toujours le même ; mais les détails du travail sont en rapport avec la mobilité du terrain à traverser.

Il faut que le terrain soit maintenu, par un garnissage approprié,

Digitized by Google

non-seulement derrière les cadres déjà posés, mais encore entre le dernier cadre et l'avancement sur tout le pourtour de la galerie, et même au front de l'avancement.

Le travail se poursuit en découvrant ce front par petites portions, grattant un peu le terrain sur une profondeur au plus égale à celle dont la garniture latérale a déjà été poussée en avant, remettant la garniture de l'avancement en place; puis, poussant de nouveau la garniture latérale, recommençant à gratter à l'avancement, et ainsi de suite alternativement, jusqu'à ce qu'on ait fait, en avant du dernier cadre, un vide suffisant pour en placer un nouveau.

Suivant la nature du terrain, les garnissages sont ou des esclimbes laissant entre elles un certain intervalle, ou des palplanches plus ou moins jointives. Ces garnissages sont enfoncés, en divergeant légèrement, pour pouvoir fléchir sous la poussée de terrain sans rétrécir l'ouverture de la galerie ; aussi les madriers placés aux angles du cadre, doivent-ils être plus larges à l'avant qu'à l'arrière, afin de compléter la surface pyramidale que forme l'ensemble des palplanches.

Assez souvent les cadres sont alternativement plus petits et plus grands; un grand cadre porte, par leur milieu, une série de palplanches; le petit cadre qui lui succède et qui lui est convenablement relié par quelques écoins qu'on change de place selon les besoins, reçoit un second cours de palplanches placées obliquement, à l'intérieur du grand cadre et à l'extérieur du petit.

Les fig. 158 et 159 représentent des coupes d'un travail de ce genre.

La première suppose un terrain *ébouleux*, mais non *coulant*, comme il s'en rencontre au passage d'un éboulement; la figure 158 suppose, au contraire, un terrain assez coulant pour qu'il faille le contenir par un garnissage jointif.

Ce cas est beaucoup plus difficile que le précédent. Il faut soutenir par des palplanches exactement jointives, non-seulement les parois et le faîte, mais quelquefois encore la sole de la galerie.

L'avancement lui-même doit en être muni. Ces dernières sont ap-

Digitized by Google

puyées contre le front de taille, par des bouts de butte prenant leur point d'appui contre les côtés du dernier cadre posé.

Si le terrain est très-coulant, ces dernières palplanches n'occupent que la moitié de la largeur de la galerie, avec un recouvrement de quelques centimètres, et sont alors maintenues à l'aide d'une chandelle placée, à cet effet, dans l'axe de la galerie.

Ces procédés sont employés couramment dans les mines de Silésie.

Dans tous les cas, le travail doit être conduit de manière à n'enlever, autant que possible, que le terrain correspondant au vide utile de la galerie et au volume du bois en place. Tout écoulement additionnel de terrain est, non seulement inutile, mais encore nuisible, en ce sens qu'il met en mouvement le terrain environnant et augmente par là les pressions. On prévient tout écoulement en employant des palplanches aussi exactement jointives que possible, bouchant d'ailleurs les moindres fissures avec de la paille, etc.

Lorsque le terrain est tout entier à l'état de sable plus ou moins fin, l'enfoncement d'un cours de palplanches se fait facilement à coups de masses. Lorsqu'il existe, au contraire, des blocs solides plus ou moins gros, sur lesquels la tranche des palplanches vient s'arrêter, on les fait ébouler, s'ils ne sont pas trop volumineux ; sinon, pour ne pas faire, par leur chute, de trop grands vides, on tâche, à l'aide de petits coups de mine, d'en détacher seulement ce qui est nécessaire pour laisser passer les palplanches, en maintenant le reste en place.

Enfin, arrivé au dernier degré de fluidité, lorsque le terrain coule presque comme de l'eau, et qu'on ne peut découvrir la plus petite partie du front sans s'exposer à un afflux, en quelque sorte, indéfini du terrain, on a indiqué de garnir le front de taille par une série de picots qu'on enfonce à coups de bélier, refoulant ainsi le terrain au lieu de l'enlever. Lorsque, par suite de ce refoulement, la pression est devenue trop forte et que le bélier n'agit plus, on perce quelques trous de tarière dans la masse des picots ; on laisse couler le terrain par ces trous, et on les rebouche avec des chevilles dès que cet écoulement a suffisamment réduit la pression pour pouvoir recommencer le battage avec le bélier. Ce bélier peut être une forte poutre

Digitized by Google

convenablement frettée, suspendue par une chaîne au chapeau d'un des derniers cadres.

Dans l'application de ce procédé, les picots ont été employés, non-seulement à l'avancement, mais encore à la sole, à mesure que l'enfoncement des picots horizontaux donnait de la place pour en enfoncer verticalement dans cette sole. Dès qu'on en avait placé ainsi sur une certaine largeur, on les recouvrait immédiatement par une série de fortes semelles jointives.

Ce système, représenté sur les figures 159, a été employé avec succès, en Belgique, dans des terrains excessivement difficiles.

On a marché beaucoup plus vite, et extrait par mètre courant un cube de terrain beaucoup moindre qu'avec le système ordinaire des palplanches, tel qu'on le pratique en Silésie.

(**185**) **Boisage d'un puits de mine.** — Un puits de mine est un ouvrage important, appelé ordinairement à une longue durée, et qui; par des motifs nombreux sur lesquels on reviendra plus loin, doit habituellement être *muraillé* et non boisé, et recevoir la section circulaire ou elliptique, et en tous cas *curviligne*, que comporte l'emploi de la maçonnerie.

Un tel ouvrage peut avoir besoin cependant d'être boisé provisoirement, pendant qu'on l'exécute, jusqu'au moment où le boisage fera place au revêtement définitif en maçonnerie.

Le creusement se fait suivant un contour polygonal, circonscrit à un cercle ayant pour diamètre celui que doit avoir dans œuvre le puits muraillé, augmenté de deux fois l'épaisseur qu'on donnera à la maçonnerie. Le boisage se compose de rondins assemblés à mi-bois et coupés obliquement à leurs extrémités, suivant les côtés du polygone. Ces cadres reçoivent un garnissage plus ou moins complet, selon la propriété plus ou moins ébouleuse du terrain. Ils sont placés de haut en bas, suspendus, par une série d'écoins allant de l'un à l'autre, à un cadre porteur dont les côtés sont prolongés pour prendre un point d'appui, soit sur le sol, soit dans une assise de rocher solide.

Ce boisage représenté (*fig.* 160) s'enlève successivement cadre par cadre, autant que la nature du terrain le permet, à mesure qu'on



Digitized by Google

élève la maçonnerie qui forme le revêtement définitif du puits.

(**186**) Lorsque c'est un boisage qui doit former ce revêtement définitif, la section du puits est essentiellement *rectangulaire*, et le boisage se compose d'une série de cadres analogues à ceux des galeries, mais avec des différences essentielles qui résultent d'une section généralement beaucoup plus grande, de la nécessité de maintenir invariable la distance entre ces cadres, et, enfin, de l'importance d'établir le boisage dans des conditions de solidité telles que les réparations, qui sont toujours une entrave pour le service du puits, y soient aussi rares que possible.

La section rectangulaire a son petit côté déterminé par les dimensions des vases d'extraction ou des cages qui doivent y circuler, son grand côté, par le nombre des compartiments distincts qu'on veut y établir. On prend ordinairement deux compartiments pour l'extraction (quoiqu'on puisse aussi n'en prendre qu'un). Il en faudra peut-être un pour l'épuisement; peut-être encore un autre pour les échelles ou pour l'introduction de l'air, etc.

Les côtés du rectangle une fois déterminés en grandeur, on s'oriente dans le terrain, supposé stratifié, de manière que le petit côté soit parallèle à la direction des couches.

Un cadre est composé de quatre pièces, deux longues et deux petites, qui sont ou des rondins, ou des pièces de bois équarries, suivant l'importance du puits.

Les cadres sont placés à l'aplomb les uns des autres, maintenus à des distances de 1 à 2 mètres par des montants, ou porteurs, placés dans les angles et arrêtés par des goussets cloués sur le cadre inférieur et sous le cadre supérieur (Voir la figure 161).

Lorsque la consistance du terrain le permet, ces cadres sont posés par reprises de bas en haut, chaque reprise commençant par un cadre porteur, ou cadre à oreilles, qui diffère des autres en ce que ses côtés se prolongent extérieurement au cadre et sont encastrés dans le terrain. Les garnissages se font derrière les cadres, soit avec des rallonges, soit avec des palplanches plus ou moins jointives, mises en pression au moyen de coins chassés entre le cadre et les garnissages.

Digitized by Google

Lorsque le boisage doit être posé de haut en bas, au fur et à mesure du foncement, les cadres successifs sont rattachés à un cadre porteur *supérieur* au moyen d'une série d'écoins cloués d'un cadre au cadre inférieur.

Si les bois sont abondants, on peut, lorsque le terrain est fort ébouleux, boiser par une série de cadres contigus (*fig.* 162).

Les poteaux, ou bois d'entrefend, qui dessinent les compartiments, doivent être en même temps considérés comme des moyens de renforcer les longs côtés des cadres. A cet effet, ils ne sont pas entaillés à mi-bois, mais l'entaille est disposée de manière à intéresser la plus grande partie de la section de la butte, et à affaiblir le moins possible la pièce du cadre (*fig.* 163).

Les faces intérieures des côtés du cadre et des poteaux d'entrefend portent les coulantages ou les cloisons étanches, nécessaires pour guider les bennes ou établir le retour d'air.

Les figures indiquées représentent les principaux détails ci-dessus, lesquels correspondent, pour les puits, à ce qui a été indiqué plus haut (n$^{os}$ 182 et 183) pour les galeries.

(**187**) Lorsque le terrain est assez ébouleux pour que le travail du fonçage du puits comprenne, comme un accessoire indispensable, le placement des garnissages et des cadres, on est dans les cas prévus au n° 185, et l'on suit des méthodes plus ou moins analogues.

Le principe du travail consiste toujours à mettre en place, au fur et mesure de l'approfondissement, une série de cadres, dont chacun est relié aux précédents, et derrière lesquels on enfonce des garnissages divergents, plus ou moins jointifs. Ces garnissages sont poussés en avant même du fonçage ; le fond du puits est lui-même revêtu d'autres garnissages, qui permettent de fractionner, autant qu'on le veut, le travail de l'avancement.

Ce travail est généralement précédé, au centre du puits, par une excavation, formée au moyen de palplanches jointives, clouées sur un coffre carré de $0^m,80$ de côté, qui a le double objet de fractionner l'avancement, et de former un puisard d'où l'on peut enlever l'eau sans enlever le sable en même temps.

Les figures 164 représentent en plan et en coupe, parallèlement

Digitized by Google

au grand côté du puits, le système indiqué ci-dessus, tel qu'il est pratiqué en Silésie.

La figure 165 est une coupe parallèle au petit côté, représentant un système de pièces verticales qu'on place dans les angles du puits et qu'on arc-boute les unes contre les autres, de manière à prévenir, autant que possible, toute déviation de la colonne du puits.

Enfin, dans le cas d'une fluidité extrême, qui ne permettrait pas de démasquer le terrain, même pour un instant, par petites parties, le fond du puits pourrait être garni de picots qu'on enfoncerait à coups de mouton, en refoulant le terrain comme si l'on pénétrait dans une masse liquide, suivant les détails indiqués précédemment pour les galeries (n° 185).

### § 2. — Du muraillement.

(**188**) Le muraillement est un moyen de soutènement d'un emploi assez fréquent dans les mines, et il importe de bien se rendre compte des cas dans lesquels il avait lieu de le préferer au boisage, qui est le moyen couramment en usage.

D'abord, au point de vue de la dépense de premier établissement, les deux procédés ne sont pas à comparer. Un bon muraillement, à mortier de chaux et sable, coûte *au moins* trois ou quatre fois autant qu'un boisage même fort complet, s'il s'agit d'une galerie ordinaire, et au moins deux fois autant, s'il s'agit d'un puits à grande section.

D'un autre côté, l'entretien du boisage peut être beaucoup plus considérable ; il arrivera, par exemple, qu'au bout de quelques mois ou d'un an, il faudra faire *un redoublement*, c'est-à-dire poser des cadres neufs entre ceux du premier boisage. Il arrivera ensuite que les uns et les autres devront avec le temps être successivement remplacés, parce que leurs diverses pièces périront ou par la poussée du terrain, ou par la carie sèche, principalement dans les puits ou galeries de retour d'air.

Il peut donc se faire que les frais d'entretien, qui iront en croissant avec le temps, compensent, et au delà, la moindre dépense de

Digitized by Google

premier établissement, et qu'en somme, au bout d'un certain nombre d'années, 5 à 6 ans, 8 ans, 10 ans peut-être, la galerie muraillée se trouve avoir coûté, en définitive, moins cher que la galerie boisée, sans même tenir compte des entraves qu'auront nécessairement apportées des réparations fréquentes dans une galerie, et surtout dans un puits, où la circulation devrait être toujours maintenue très-active.

On doit donc se représenter que le choix à faire entre le muraillement et le boisage dépende *accessoirement* des prix relatifs des divers matériaux et de la main-d'œuvre dans le pays, et *principalement* du temps pendant lequel l'ouvrage considéré devra être ouvert à la circulation.

Si l'on examine la question de près, on reconnaîtra qu'on n'a peut-être pas recours au muraillement aussi souvent qu'il serait opportun de le faire. Toutefois, pour que cette remarque soit juste, il doit être entendu qu'on l'applique seulement au cas où le muraillement pourrait être fait dans des conditions de solidité telles qu'il résistât pendant toute la durée assignée à la galerie, sans avoir besoin de réparations notables ; c'est-à-dire (en se reportant aux considérations du n° 177), aux mêmes cas où l'on est conduit à mettre de suite en place un boisage définitif, à l'exclusion de ceux où il devrait se produire un premier mouvement irrésistible entraînant l'écrasement et la destruction d'une maçonnerie, quelque forte et quelque soignée qu'elle fût.

En somme, on peut dire que l'emploi du muraillement est une pratique qui doit tendre à se répandre à mesure que les bois deviennent plus rares et plus chers, et à mesure que les mines, devenant *plus profondes*, doivent en même temps devenir *plus étendues*, et les divers travaux d'aménagement *durer plus longtemps*.

D'ailleurs, on doit considérer que, dans certains cas, le boisage doit forcément faire place au muraillement, notamment lorsqu'il s'agit de maintenir ouvertes des excavations à grande section, comme les tunnels des chemins de fer ou des canaux de navigation, ou encore lorsque l'excavation doit recevoir un foyer d'aérage ou des chaudières de machines à vapeur, etc.

Néanmoins, il ne paraît pas que le muraillement soit appelé

Digitized by Google

à exclure le boisage dans les travaux courants de l'exploitation.

(**189**) On distingue le muraillement en pierres sèches, qui est plutôt une sorte de remblai, et le véritable muraillement à mortier de chaux et sable, et, dans chacun d'eux, l'appareil à joints parallèles, pour former des murs devant résister comme des piliers, et l'appareil à joints convergents, pour former des voûtes devant résister à des poussées transversales.

Les matériaux qu'on emploie sont des moellons ou des briques, et très-exceptionnement la pierre de taille.

Les moellons sont bruts, ou plus ou moins piqués. On emploie du calcaire, du grès houiller, très-volontiers aussi du gneiss, des micaschistes, des ardoises, ou autres roches ayant une schistosité plus ou moins prononcée, qui permet de les obtenir en pierres plates d'un emploi facile et commode.

Les briques ont, à un plus grand degré encore, l'avantage d'un emploi commode, à cause de leurs angles droits, de la régularité de leur format, et du rapport simple qu'on établit entre leurs trois dimensions. Ce rapport est ordinairement celui des nombres 1, 2 et 3. Ainsi on leur donnera, par exemple, 6 centimètres d'épaisseur, 12 de largeur et 24 de longueur, ou un cube de $6 \times 12 \times 24 = 1,728$ centimètres. En supposant un joint au mortier de 2 centimètres, une brique occupera un volume de $7 \times 13 \times 25 = 2,275$ centimètres, ou, ce qui revient au même, il en entrera 440, soit, en nombre rond, si les joints sont bien faits, et pour tenir compte des déchets et surtout des incuits, 500 au mètre cube.

Ces briques doivent être *convenablement* cuites. Si elles le sont trop peu, elles n'ont pas la consistance suffisante ; si elles le sont trop, elles peuvent être vitrifiées à la surface, et le mortier y a moins de prise. L'excès de cuisson vaut mieux cependant que le défaut inverse. La terre employée à leur fabrication doit être franchement argileuse, sans mélange de noyaux calcaires qui se changeraient en chaux pendant la cuisson, et fuseraient, en délitant les briques, lorsque celles-ci seraient exposées à être mouillées, ce qui est le cas habituel dans les mines. On reconnaît leur degré de cuisson, soit à la couleur pour

Digitized by Google

une terre donnée, soit au son qu'elles émettent lorsqu'on les frappe légèrement.

Les briques sont particulièrement commodes pour la construction rapide des voûtes. On fait assez souvent les pieds-droits en moellons et les voûtes en briques.

(**190**) Sans entrer dans des détails étendus qui seraient du domaine de l'art de la construction, nous nous bornerons à indiquer quelques règles auxquelles on doit avoir égard, pour la bonne confection des maçonneries souterraines.

En première lieu, pour le mortier, on l'emploiera généralement de qualité hydraulique. Ce mortier devra être *gâché très-serré*, c'est-à-dire avoir une consistance assez épaisse, et être employé en aussi petite quantité que possible, simplement pour former un lit bien continu, mais peu épais, entre les diverses assises de matériaux et pour remplir exactement tous les vides que laissent entre elles les pierres d'une même assise, serrées les unes contre les autres. Quand les matériaux sont poreux, il est bon de les mouiller avant l'emploi.

Il est recommandé de ne laisser aucun vide, ni dans la masse de la maçonnerie, ni entre la maçonnerie et le terrain, et, autant que possible, d'enlever les pièces du boisage et même les garnissages. Tous les vides qui existent derrière la maçonnerie et qui résultent de l'enlèvement des bois, doivent de même être bourrés par des remblais bien tassés, ou mieux encore par du béton.

Il convient, lorsqu'on se décide au muraillement d'une galerie, de ne pas différer ce travail et de l'exécuter de suite dans des conditions suffisantes de solidité (voir n° 188).

Dans la maçonnerie à joints parallèles fonctionnant comme un pilier, ces joints doivent être perpendiculaires à la direction de l'effort qu'elle doit supporter.

Dans les voûtes, la corde de l'arc se place à peu près perpendiculaire à cet effort ; les coussinets de la voûte doivent être établis très-solidement, et la voûte elle-même doit être d'autant plus épaisse, pour une corde d'une longueur donnée, qu'elle est plus surbaissée.

Il serait d'ailleurs oiseux de chercher à poser des formules pour calculer numériquement cette épaisseur, les pressions que la voûte

Digitized by Google

aura à supporter étant à peine connues *en direction*, et nullement *en grandeur*.

La maçonnerie se construit par assises successives, dans chacune desquelles on a soin de croiser les joints. On croise également les joints d'une assise à la suivante, de manière à bien relier la masse dans tous les sens. On augmente encore cette liaison par l'emploi des parpaings ; on applique très-convenablement à cet usage les vieux bois de mine recoupés sur une longueur égale à l'épaisseur donnée à la maçonnerie.

Ces généralités posées, nous allons, comme nous l'avons fait pour le boisage, considérer les divers cas qui se présentent habituellement dans l'exploitation d'une mine.

(191) **Muraillement d'une galerie à conserver au milieu des remblais, pour desservir une taille en exploitation.** — Ce travail est moins un muraillement proprement dit, qu'une sorte de remblai, combiné souvent avec un certain emploi du boisage.

On remblaie, en général, en arrière de la taille, soit avec les matières stériles que fournit le gîte, soit, au besoin, avec des matériaux pris sur un autre point, dans la mine ou au jour. Ces remblais sont simplement rejetés en arrière à la pelle, sans prendre de soins spéciaux pour les bourrer contre le toit. Seulement le long des galeries à réserver, on ménage soit des murs continus, soit des lignes de piliers dits *piliers à bras*, qu'on établit en choisissant dans le remblai les morceaux les plus résistants et d'une forme appropriée, pour bâtir une sorte de maçonnerie en pierres sèches, parementée avec quelque soin sur les diverses faces qui ne sont pas en contact immédiat avec la masse des remblais. C'est dans cette maçonnerie qu'on emploie volontiers les vieux bois de mine formant parpaing sur toute l'épaisseur muraillée, qui est peut-être de $1^m,50$ à 2 mètres et plus. Si le toit a besoin d'être soutenu sur la largeur de la galerie, on boise avec quelques chapeaux engagés dans la maçonnerie, et reposant souvent sur d'autres vieux bois placés longitudinalement pour répartir la pression du chapeau sur une base suffisante.

Ce système, représenté figure 166, donne, à peu de frais, un soutènement suffisant pour les quelques semaines ou les quelques mois

Digitized by Google

que la galerie restera ouverte, et préférable à un vrai muraillement à mortier de chaux et sable, qui serait *plus cher*, et ne résisterait *pas mieux* à l'affaissement inévitable du toit.

Au lieu de mettre la galerie au milieu du remblai, on pourrait la placer contre le massif, qui limite le chantier au moins sur un des côtés. On aurait alors le massif sur un côté et le remblai seulement sur l'autre côté de la galerie.

Il est bon de remarquer que cette position de la galerie, loin d'être avantageuse, serait souvent défavorable à la solidité; car c'est au droit du massif que se fait la rupture, si elle accompagne l'affaissement général du toit sur les remblais, et tous les mineurs savent bien que, dans ce cas, une galerie se tient mieux *au milieu des remblais* que suivant la ligne qui sépare les remblais du massif.

(**192**) **Muraillement d'une galerie ordinaire.** — Ce muraillement présente, comme le boisage, un certain nombre de cas à considérer.

Très-souvent la galerie se compose de deux pieds-droits d'un mètre de hauteur, construits en moellons, et surmontés d'une voûte en plein cintre d'un mètre de rayon ; de sorte que le muraillement terminé, la galerie présente une longueur dans œuvre de 2 mètres et une hauteur sans clefs également de 2 mètres (*fig.* 167).

Les pieds-droits sont fondés de 10 à 20 centimètres dans la sole, et ont de $0^m,60$ à 1 mètre d'épaisseur. La voûte a rarement plus de deux briques, ou $0^m,50$, d'épaisseur, quelquefois seulement une brique ou une brique et demie.

Si la galerie a d'abord été boisée, il arrive souvent qu'on doit commencer par enlever les bois et l'élargir, pour poser la maçonnerie. Mais quand même la maçonnerie pourrait être inscrite à l'intérieur des cadres, ceux-ci doivent toujours, à moins de danger d'éboulement immédiat, être enlevés ainsi que les garnissages, et tous les vides qui en résultent doivent être remplis avec le plus grand soin.

La construction des pieds-droits ne présente aucune particularité à signaler. Pour la pose des voûtes, on emploie des cintres retroussés formés simplement d'une forte barre de fer recourbée circulairement, pour recevoir les douelles, ou couchis, servant à la pose. Cette

Digitized by Google

barre est munie de deux talons, par lesquels elle repose sur les pieds-droits.

Cette disposition a l'avantage de permettre de travailler à la voûte, sans interrompre la circulation dans la galerie.

(**193**) Si l'on s'attend à ce que la pression vienne, non-seulement *de haut en bas* sur la voûte, mais aussi *latéralement*, et même de *bas en haut*, par suite de la tendance de la sole à remonter, on emploie un muraillement *elliptique* complet, résistant à la poussée dans tous les sens, ou plutôt, dans la pratique, *une courbe à plusieurs centres*.

Le muraillement complet comprend d'abord *le radier* en forme de voûte renversée, dont on se donne la corde, qui est la largeur au bas de la galerie.

En ajoutant à ce premier élément, la largeur de la galerie à une hauteur donnée et sa hauteur totale, on a tous les éléments nécessaires pour en déterminer la section.

On procède de la manière suivante :

Soit AB la largeur à la base (*fig.* 168).

CE la largeur maxima à une hauteur donnée.

DD′ la hauteur sous clef, au-dessus de la corde du radier. Menant la corde BC et élevant une perpendiculaire sur le milieu de cette corde, jusqu'à la rencontre de l'horizontale CE, on a en O le centre de l'arc BC. Décrivant du point *m* comme centre le quart de cercle DF, et prenant DG=D*m*=*m*G. L'angle D*m*G du triangle équilatéral est de 60°, et l'angle G*m*F, qui est son complément, est de 30°. Menant CH parallèle à GF et HO parallèle à *m*G, on aura en O′ et en O″, les centres de deux arcs de cercle CH et DH, qui compléteront le demi-profil BCHD de la galerie. Les trois arcs de cercle BC, CH et HD, d'après la construction, se raccordent en C et en H.

Les angles au centre correspondants sont, pour le premier, l'angle COB qui dépend de la position relative des points B et C, pour le second, l'angle CO′H qui est de 30°, et pour le troisième, l'angle HO″D qui a une valeur double.

Quant à la voûte renversée dont la corde est AB, et qui doit former le radier, on peut, si l'on veut, la décrire au moyen d'un arc

Digitized by Google

de cercle décrit du point O''' comme centre avec O'''B pour rayon, et alors l'arc AB se raccorde en B avec l'arc BC. Mais le plus souvent on emploiera une voûte surbaissée, dont on placera le centre sur un point de la verticale D*m*D', en s'imposant la condition que cette voûte ait une flèche donnée D'D'', c'est-à-dire en faisant passer un arc de cercle par les trois points AD''B. On en trouvera le centre O$^{IV}$, en élevant une perpendiculaire sur le milieu de la ligne BD'' et la prolongeant jusqu'à sa rencontre avec la verticale D*m*D'.

Le profil de la galerie présentera en B un jarret ou angle vif, dont l'angle OBO$^{IV}$ sera le supplément. On placera convenablement en B une pierre d'angle, taillée de manière à former coussinet pour les deux voûtes BA et BC.

L'épaisseur, dans un muraillement de ce genre, n'est pas la même en tous les points. Elle devrait dépendre, en chaque point, et du rayon de courbure et de la pression inconnue qui s'y manifestera. On aurait une sorte de limite, dont on sera toujours plus ou moins éloigné, si l'on supposait le terrain tellement meuble et coulant qu'on pût en quelque sorte l'assimiler à un liquide, auquel cas la pression serait uniformément distribuée, et agirait normalement à la surface de l'extrados. On devrait dans ce cas, pour obtenir une égale fatigue dans tous les joints, donner, en chaque point, une épaisseur proportionnelle au rayon de courbure. Habituellement on se borne à donner à la clef une épaisseur d'une brique à une brique et demie, qu'on porte à deux briques ou deux briques et demie sur les côtés, quand on prévoit des poussées latérales très-fortes.

L'épure ci-dessus indiquée, qui consiste à tracer le demi-profil en travers de la galerie avec trois centres, ou, en y comprenant le radier, avec quatre centres, suffit parfaitement pour les galeries à petite section, telles que les galeries de mine ordinaires. On multiplie habituellement le nombre des centres, ou l'on adopte le profil elliptique pour les grandes sections.

(**194**) Quand la galerie a été exécutée dans un terrain ébouleux, à l'aide des méthodes spéciales de boisage, décrites à la fin du n° 181, on trouve souvent opportun, après que le terrain s'est ressuyé et est ainsi devenu moins coulant, de remplacer le boisage et

Digitized by Google

sa garniture par une maçonnerie. Le travail doit se faire dans un sens inverse du boisage, ou en partant du bout de la galerie et revenant vers l'orifice, afin de pouvoir plus facilement soutenir les garnissages, après qu'un cadre a été enlevé pour faire place au muraillement, et ensuite arracher ces garnissages eux-mêmes, après que le muraillement a été substitué à la place d'un cadre.

Cette substitution se fait cadre par cadre, et pour un cadre donné, pièce par pièce. On coupe les montants par le pied, pour enlever d'abord la semelle et ses garnissages, et poser le radier ; puis on coupe progressivement ces mêmes montants à mesure que les piédroits s'élèvent, tout en maintenant en place ce qui en reste encore, ainsi que le chapeau, par un étançonnage provisoire. Ensuite on pose les cintres, on enlève rapidement le sommet des montants et le chapeau, et on les remplace aussitôt par un bandeau de voûte.

Ce mode de travail est facile à décrire; mais l'exécution en est délicate et demande des ouvriers habiles. L'art de l'ouvrier consiste à fractionner, autant qu'il convient, l'enlèvement d'un cadre, et à étançonner provisoirement les parties encore en place de ce cadre, de manière qu'aucune partie du terrain ne reste jamais sans être soutenue par les garnissages, jusqu'au moment même où la maçonnerie vient les remplacer contre le terrain.

Une telle maçonnerie gagnera beaucoup, en solidité et en facilité d'exécution, à être faite avec un mortier éminemment hydraulique.

(**195**) Pour des terrains du genre considéré, on a aussi proposé et employé avec succès une méthode consistant à murailler directement la galerie, au fur et à mesure de son exécution.

Le front de taille est maintenu et l'avancement est poussé en le fractionnant, comme il a été dit au n° 181. Le pourtour de la galerie est maintenu par des palplanches en fer soutenues par des cadres également en fer. Elles sont toujours *engagées dans le terrain* d'une petite quantité en avant du front de taille, et en arrière elles sont *engagées derrière la maçonnerie*, qu'on avance successivement, par reprises d'environ 1 mètre, à mesure que les progrès de l'excavation permettent de démonter le cadre d'arrière, pour le reporter en avant à une petite distance du front de taille.

Digitized by Google

Les cadres en fer sont formés de deux pièces, afin de pouvoir être facilement démontés. Ils sont portés par une semelle formée d'une planche en fer dans laquelle ils pénètrent par une mortaise. Cette planche est posée sur une autre semelle en bois, qu'il suffit de déplacer de côté lorsqu'il s'agit de démonter le cadre.

Les trois cadres en place à la fois sont maintenus parallèles, ou entretoisés, au moyen de deux tirants en fer qui traversent leurs nervures intérieures et sont clavetés à droite et à gauche de chaque nervure. Les palplanches en fer que supportent les cadres, présentent une série de trous, dans lesquels on engage les pointes de leviers en fer à l'aide desquels on les fait avancer.

Ce système est représenté (*fig.* 169) dans son ensemble et avec les principaux détails relatifs aux cadres et à leur entretoisement, ainsi qu'aux palplanches et à la manière de les soutenir (voir la légende des planches).

Ce mode de travail est fort avantageux, en ce qu'il supprime la dépense de boisage qu'on doit faire dans le système ordinaire des palplanches en bois décrit au numéro précédent. Mais il ne se prêterait peut-être pas aussi bien, ou, en quelque sorte, *avec la même souplesse* que ce dernier système, à toutes les circonstances du travail du percement dans un terrain excessivement difficile.

(**196**) Enfin, de même que certaines circonstances de terrain permettent, dans le boisage d'une galerie, de supprimer tel ou tel élément entrant dans la composition normale d'un cadre, on peut concevoir que le muraillement se borne, tantôt à deux murs latéraux sans voûte, si le toit est convenablement solide, tantôt à une voûte plus ou moins surbaissée, si les parois sont très-solides et le toit plus ou moins ébouleux. On peut concevoir aussi, qu'à défaut de coussinets d'une solidité suffisante, on se procure un point d'appui pour une voûte donnée, au moyen d'arceaux convenablement disposés, etc., etc.

On peut avoir ainsi une multitude de combinaisons diverses, qu'il est facile d'imaginer, et dont les figures 170 à 179 donnent quelques exemples. Ces exemples sont extraits de l'ouvrage de M. Gatzschmann, sur le muraillement des mines.

Digitized by Google

Ces diverses figures, pour lesquelles nous renvoyons à la légende explicative des planches, représentent différents cas de galeries d'allongement établies dans des filons. Elles supposent les épontes tantôt solides, tantôt plus ou moins ébouleuses ; elles supposent également, tantôt que le filon est intact au-dessous de la galerie, tantôt que le massif situé immédiatement en aval pendage a été, ou va être exploité.

Ces dispositions se rencontrent dans les filons de la Saxe, où il est fait un usage du muraillement plus général que dans la plupart des autres districts métalliques.

(**197**) **Muraillement d'un puits de mine.** — Nous avons déjà dit qu'un puits de mine diffère d'une galerie par sa section généralement beaucoup plus grande ; il en diffère aussi par la position de son axe, qui est le plus ordinairement vertical.

Ces deux circonstances tendent, la première à augmenter, la seconde à diminuer les moyens de consolidation que peut demander un terrain donné.

Mais la première doit être considérée comme étant de beaucoup la plus importante, et un puits de mine s'établira habituellement *dans les meilleures conditions de solidité*, soit à cause de la durée du service qui lui est demandé, soit surtout à cause des inconvénients majeurs qu'entraîneraient des réparations fréquentes, venant entraver, ou suspendre même, l'extraction et l'épuisement.

On peut donc poser comme règle *qu'un puits de mine, destiné à un long usage, doit être muraillé.*

Ce principe admis, la forme circulaire est celle qui donne, à la fois, le plus de facilité pour l'exécution de la maçonnerie, et les meilleures conditions de résistance à une poussée du terrain se produisant dans un sens quelconque.

Seulement, la section du puits est moins bien utilisée que dans un puits rectangulaire ; ce qui n'est d'ailleurs qu'un inconvénient assez secondaire au point de vue de la dépense, et peut-être, au contraire, un avantage appréciable au point de vue de la ventilation.

On peut d'ailleurs éviter partiellement l'inconvénient signalé en

Digitized by Google

donnant au puits une section elliptique, ou mieux encore une section ayant la forme générale d'un rectangle, mais dont les quatre côtés sont des arcs de cercle de grand rayon.

Ce dernier système est assez usité en Allemagne. Mais en Angleterre, en Belgique et en France, on préfère habituellement une section circulaire, rarement inférieure à 3 mètres et supérieure à $4^m,50$ de diamètre.

C'est ainsi que depuis une vingtaine d'années, beaucoup de puits ont été exécutés au diamètre de 4 mètres. En supposant un muraillement de deux briques d'épaisseur, le terrain doit alors être creusé sur un diamètre de 5 mètres au moins, réductible à 4 mètres dans les passées, s'il s'en présente, où le terrain, solide et en couches rapprochées de l'horizontale, peut se passer de moyens de soutènement.

Cependant, même dans ce cas, juge-t-on *le plus souvent* opportun de faire un revêtement d'une demi-brique au moins, pour prévenir toute possibilité d'éboulement accidentel. Cette précaution sera toujours prise, même en terrain solide, soit pour les premiers mètres partant du jour, qui sont toujours plus ou moins désagrégés par les agents atmosphériques, soit pour retenir les déblais extraits du puits qui sont souvent employés à former autour de l'orifice du puits un terre-plein, ou *plâtre*, élevé d'une certaine hauteur (2 ou 3 mètres) au-dessus du niveau naturel du sol.

Ces quelques mètres de muraillement, quand le terrain est solide, se posent quelquefois directement sur une banquette ménagée dans le terrain. On emploie soit des briques, soit des moellons piqués sur cinq faces et entaillés en forme de voussoirs. Ces moellons ont de $0^m,40$ à $0^m,70$ de queue. La face tournée du côté du terrain reste seule brute. L'espace, entre cette maçonnerie et le terrain, est rempli d'argile fortement damée pour empêcher l'infiltration des eaux superficielles. On donne parfois à ce muraillement une forme légèrement conique évasée par le haut, de sorte que la section, à l'orifice, est un peu plus grande que la section courante du puits.

(**198**) Lorsque le puits a besoin d'être muraillé pour être maintenu solide, il n'arrive pas toujours, ni même habituellement, qu'on

Digitized by Google

trouve des parties assez résistantes pour qu'on y puisse former des banquettes capables de soutenir directement le muraillement.

Dans ce cas, on le fait reposer sur un cadre porteur, qu'on nomme *un rouet* ou *une roulisse*.

Le travail ordinaire, en terrain passable, se fait par une série de *reprises* successives.

Supposant le puits creusé et muraillé jusqu'à une certaine profondeur, on recommence à creuser d'abord sur un diamètre égal au diamètre intérieur de la maçonnerie ; puis on s'élargit progressivement à mesure qu'on descend, laissant une sorte de corniche pour soutenir provisoirement la roulisse de la dernière reprise de maçonnerie. On descend ainsi d'un certain nombre de mètres, qui varie selon la solidité du terrain. Lorsqu'on trouve une assise propre à l'établissement d'une nouvelle roulisse, ou lorsqu'on reconnaît qu'il est devenu nécessaire de murailler, on ménage la banquette qui recevra cette roulisse, et l'on continue à creuser d'une petite quantité pour former un puisard ; on pose la roulisse et on élève sur elle la maçonnerie. Quand on se rapproche de la roulisse supérieure, on enlève la corniche par portions, et on la remplace provisoirement par des buttes qui prennent leur point d'appui sur la maçonnerie en cours d'exécution, et qui sont successivement déplacées et enlevées, à mesure que la maçonnerie s'élève et vient toucher le dessous de la roulisse.

Le muraillement du puits achevé, la colonne du puits présente ainsi une série de reprises qui ont été exécutées *dans l'ordre descendant*, chacune d'elles ayant d'ailleurs été exécutée de *bas en haut*.

Ces diverses reprises sont séparées les unes des autres par les roulisses qui restent engagées dans la maçonnerie.

Telle est l'*idée générale* du travail.

Il doit être entendu qu'au point de vue de la bonne confection de la maçonnerie, on se conformera à toutes les indications du n° 190. Mais les conditions matérielles dans lesquelles le travail s'exécute demandent quelques détails additionnels, que ne comportait pas le muraillement d'une galerie.

En premier lieu, il faut, à chaque reprise, comme on vient de le dire, donner un point d'appui solide à la maçonnerie. Le cadre

Digitized by Google

porteur, ou roulisse, a pour objet, à la fois, de donner ce point d'appui, de fournir une surface bien régulière pour la pose de la première assise de cette maçonnerie, et enfin de répartir les pressions sur toute la surface de la corniche. Tantôt la roulisse est simplement posée sur cette corniche ; tantôt elle est coincée fortement contre le terrain, ou est ce qu'on appelle *colletée au ferme*, en opérant comme on le dira en parlant du cuvelage ; tantôt elle est dite *à pattes*, c'est-à-dire que quelques-unes des pièces du cadre qui la forment, se prolongent et ont leurs extrémités engagées et encastrées aussi bien que possible dans le terrain.

Ces dernières dispositions ont pour objet de soulager la corniche lors du creusement ultérieur du puits. Du reste, cette corniche n'a pas en réalité à porter tout le poids du muraillement, attendu que le bourrage exécuté par derrière la maçonnerie, et les petits mouvements que fait le terrain pour venir s'appuyer contre elle, empêcheraient souvent le muraillement de descendre, une fois que le mortier a bien pris, quand même la corniche viendrait à être supprimée.

La roulisse se compose, tantôt de pièces de bois équarries formant un polygone circonscrit au rond du puits ; tantôt de deux ou trois cours d'épais madriers, superposés à joints croisés, et reliés par des boulons, formant un anneau circulaire qui a le diamètre intérieur de la maçonnerie et une largeur au moins égale à l'épaisseur de celle-ci.

En second lieu, les hommes ne travaillent pas posés sur le sol, comme dans le muraillement d'une galerie, et il faut un moyen de les mettre à portée de leur travail.

On peut employer deux systèmes, ou bien les descendre et les faire travailler dans ce qu'on appelle la *benne aux réparations*, grand cuveau de forme elliptique, n'ayant pas plus de 80 centimètres de profondeur ; ou bien leur donner le soin de s'échafauder à mesure que la maçonnerie s'élève, au moyen de pièces de bois engagées dans des trous laissés provisoirement à la maçonnerie. Ces pièces reçoivent un plancher volant, sur lequel on peut faire travailler plus commodément un plus grand nombre d'hommes qu'avec la benne. On regagne ainsi, très-amplement, le temps employé à relever successivement ce plancher.



Digitized by Google

Enfin, il faut un moyen de se débarrasser des eaux qui suintent parfois avec abondance par les parois du terrain, et qui pourraient entraver beaucoup le travail de la maçonnerie, si, pendant ce travail, on les laissait se déverser par-dessus la dernière assise posée. On cherche donc à les écouler en dessous de la reprise en cours d'exécution. A cet effet, on noie dans les assises inférieures de la maçonnerie un tuyau de fonte qui la traverse de part en part, ou bien on pratique, dans la roulisse elle-même, un gros trou de tarière horizontal, en communication avec un trou vertical qu'on a soin de ne pas recouvrir de maçonnerie.

L'orifice d'écoulement ainsi ménagé est mis en relation, soit avec un petit tuyau vertical en fer-blanc percé de trous, qu'on allonge à mesure que la maçonnerie s'élève, soit avec un petit vide triangulaire qu'on ménage, contre la paroi du rocher, au moyen de deux planchettes. On a soin, pendant le bourrage du béton derrière la maçonnerie, d'en tenir la surface toujours un peu en contre-bas des dernières assises, et inclinée vers le point où l'on a placé le tube ou les planchettes.

De cette manière, l'eau qui suinte sur toute la hauteur de la reprise en cours d'exécution, soit dans la partie déjà maçonnée, soit dans celle où le rocher est encore à jour, trouve à s'écouler par l'orifice ménagé à la partie inférieure.

La reprise terminée, lorsqu'il s'agit de recommencer le fonçage pour en exécuter une nouvelle, on peut, soit en fermant un robinet, soit en enfonçant une broche en bois, arrêter l'écoulement de l'eau, ou, s'il y a encore convenance à la laisser couler pour ne pas charger prématurément la maçonnerie, on adapte à l'orifice une manche en toile qui conduit l'eau jusqu'au puisard, sans la laisser tomber en pluie sur la tête des ouvriers.

On emploie une disposition analogue pour se débarrasser des suintements qui peuvent traverser les maçonneries. On les arrête à une roulisse sur laquelle on a eu soin de placer un peu en retraite les deux ou trois premières assises de la maçonnerie. Sur la partie de la face supérieure de la roulisse ainsi dégagée, on creuse une rigole qui recueille les eaux tombant goutte à goutte ; cette rigole correspond à un trou, percé obliquement, sur lequel on adapte la

Digitized by Google

manche, ou le petit tuyau, qui conduit ces eaux, soit à un réservoir spécial, soit au puisard. Ce dispositif se nomme une gargouille.

Ce qui précède constitue le travail ordinaire du muraillement d'un puits. C'est le procédé en quelque sorte normal. Il suppose un terrain assez résistant pour qu'on puisse d'abord le foncer sur un certain nombre de mètres, et ensuite y établir des banquettes sur lesquelles on établira des coulisses dans des conditions acceptables de solidité.

La figure 181 donne une idée générale du mode de travail ci-dessus décrit. Elle suppose le puits entièrement muraillé jusqu'au jour au-dessus de l'avant-dernière reprise AB.

On vient de creuser, en boisant, selon les besoins, jusqu'à la hauteur CD, à laquelle on veut poser la nouvelle reprise. On a laissé une corniche sous la roulisse AB; on a creusé un puisard en contrebas de CD. La nouvelle roulisse est en place, et on commence à élever au-dessus la maçonnerie qui viendra se fermer en dessous de la roulisse AB, en enlevant la corniche.

(**199**) A mesure que le terrain devient moins résistant, on est conduit à augmenter le nombre des roulisses, ou à diminuer leur écartement, et bientôt à demander àun point d'appui supérieur, la solidité qu'elles ne trouvent plus, à un degré suffisant, dans la corniche sur laquelle on les pose.

Ces roulisses pourront être ainsi placées à des distances de 2 mètres et au-dessous, chacune d'elles étant reliée à la roulisse supérieure par un système d'écoins ou de plateaux fortement cloués sur l'une et sur l'autre, en remontant jusqu'au dernier cadre à pattes qui a pu être placé dans un rocher solide, ou, à défaut d'un tel cadre, jusqu'à un point d'appui qu'on se procure au jour.

Ce point d'appui peut être obtenu de diverses manières.

On peut, par exemple, avoir un grand cadre porteur dont les extrémités reposent sur le terrain directement, s'il est bon, ou, s'il est mauvais, par l'intermédiaire de madriers épais couchés en travers des pièces.

On peut aussi avoir une série de pièces de bois (*fig.* 182) disposées suivant des rayons du puits, à l'intérieur duquel ils dé-

Digitized by Google

bordent au plus de 10 à 12 centimètres. Ces espèces de corbeaux, dont on peut augmenter le nombre autant qu'on veut, sont percés d'un trou vertical recevant l'extrémité filetée d'une longue tige de fer, munie d'une sorte de patte recourbée à angle droit, qu'on engage sous une roulisse, et qu'on met en charge à l'aide d'écrous agissant sur la partie filetée.

Ces tiges de fer sont pourvues de rallonges, pour que les pattes puissent être appliquées successivement sur les diverses roulisses. Les pièces de bois sont chargées de poids à leurs extrémités, si elles reposent directement sur le sol. D'autres fois, elles sont engagées dans le terrain, derrière la première reprise maçonnée, et celle-ci est empêchée de descendre par suite de la forme conique qu'on a soin de lui donner extérieurement, d'où il résulte que, pour descendre, elle devrait, non pas seulement vaincre les frottements du terrain, comme si elle était cylindrique, mais encore produire sur le terrain un refoulement impossible.

(**200**) Si le terrain est très-coulant, et que le puits, d'abord boisé suivant le système décrit au n° 187, doive ensuite être muraillé, on se trouve dans un cas analogue à celui qui a été indiqué au n° 194 pour les galeries.

Il convient de procéder en suivant les mêmes errements.

Le muraillement se fera en une fois, de bas en haut. On commencera par assurer la base de cette maçonnerie, au moyen d'un radier en forme de voûte hémisphérique ou plus ou moins surbaissée, sur les coussinets de laquelle on posera les premières assises du muraillement.

Le travail courant devra toujours être conduit de manière que chaque partie de la surface du terrain soit soutenue, jusqu'au moment même où on la met en contact avec la maçonnerie ; ainsi, les cadres doivent être enlevés pièce par pièce, et les garnitures en palplanches, si on ne les laisse pas en place, sont arrachées progressivement de bas en haut, l'arrachement d'une série ne se complétant que lorsque l'extrémité de la série précédente est déjà engagée derrière la maçonnerie.

En opérant de cette manière, l'extérieur de la maçonnerie se

Digitized by Google

trouve *inscrit dans l'intérieur* du rectangle formé par une série de palplanches. Mais il peut se faire qu'on n'obtienne pas ainsi une section suffisante ; car il sera souvent arrivé que, pour faciliter le travail du fonçage, on ait d'abord ouvert le puits sur une faible section.

Le muraillement définitif doit se faire alors en élargissant le puits. Ce travail s'exécute *en battant au large*, au fur et à mesure que la maçonnerie s'élève. On procède en traitant les palplanches qui soutiennent le terrain comme celles dont on garnit le front de taille d'une galerie ; c'est-à-dire qu'on les prend à tour de rôle, qu'on gratte le terrain par derrière et qu'on les repousse immédiatement au fond de la petite excavation produite, en complétant le soutènement provisoire du terrain par quelques bouts de planches enfoncées horizontalement, de champ sur les côtés et à plat au faîte de l'excavation ; puis, quand on a fait ainsi un vide d'une certaine largeur, on le remplit immédiatement par un bandeau correspondant de maçonnerie. On arrive de cette manière à donner au puits maçonné une *section intérieure circonscrite au boisage* dont il était d'abord revêtu.

(**201**) Enfin, dans les terrains très-coulants et très-aquifères que l'on rencontre souvent en Silésie et dans le bassin de la Ruhr, on a employé un système qui consiste à murailler le puits directement ; système qui, sous ce rapport, se rapproche de celui du n° 195, mais qui en diffère essentiellement en ce que, ne trouvant pas de point d'appui pour allonger la colonne de maçonnerie par le bas, au fur et à mesure de l'approfondissement du puits, on la fait descendre tout d'une pièce dans le terrain, *en l'allongeant par la partie supérieure*.

L'appareil comprend donc une roulisse inférieure, qui sert de base à toute la maçonnerie, et qui est armée d'un sabot tranchant. On forme ainsi une espèce de tour mobile, sur laquelle on pose de nouvelles assises de maçonnerie à mesure qu'elle descend.

Cette roulisse inférieure s'appelle une *trousse coupante*. Elle est d'abord posée sur le fond d'une première excavation de grand diamètre, qu'on a boisée selon que la nature du terrain le demandait. La maçonnerie s'élève sur cette trousse.

De 2 en 2 mètres environ, on a soin d'y intercaler des roulisses

Digitized by Google

qui sont reliées entre elles et à la trousse coupante, et serrées sur la maçonnerie par des boulons noyés dans l'épaisseur même de cette maçonnerie.

D'autrefois le serrage des diverses roulisses a lieu par l'intermédiaire des pièces de bois qui servent à diviser le puits en compartiments.

En outre, sur tout le pourtour extérieur de la maçonnerie, on cloue sur les roulisses une sorte de coffrage continu, formé par des madriers. Enfin, si l'intérieur du puits comporte quelques subdivisions en compartiments, on en met en place au moins les pièces principales, en les faisant porter sur les roulisses, dans des potelles réservées dans la maçonnerie.

Toutes ces dispositions sont prises pour prévenir, autant que possible, la dislocation de la maçonnerie et les frottements du terrain pendant l'enfoncement de la tour.

Cet enfoncement se fait d'ailleurs par le seul poids de la tour, ou en la chargeant convenablement.

On facilite et on règle cet enfoncement, en travaillant au fond du puits. On maintient ce fond plus ou moins revêtu de garnissages, et on travaille à l'avancement, en le découvrant partiellement, selon que le demandent la nature du terrain et la tendance de la tour à s'enfoncer plus ou moins inégalement.

Avec un terrain très-mouvant et en même temps très-aquifère, la question est de chercher à *retenir* le terrain, bien plutôt qu'à *l'excaver ;* car il arrive que, sous l'action du courant d'eau déterminé par l'aspiration des pompes, le terrain tend à remonter dans l'intérieur de la tour, à un niveau d'autant plus élevé qu'il est naturellement plus meuble et que l'appel par les pompes est plus énergique.

Il faut tâcher, ainsi qu'on l'a déjà dit, de n'enlever que le terrain correspondant au vide qui doit être fait.

Tout ce qu'on enlève en excès tend à mettre la masse du terrain en mouvement, et il peut en résulter des accroissements irréguliers de pression, qui augmentent les frottements et tendent à produire des déviations de la tour.

En somme, un travail de ce genre est fort délicat ; on doit le ran-

Digitized by Google

ger au nombre des plus difficiles qui se présentent dans l'exploitation des mines.

La figure 183 représente le système dont il s'agit, tel qu'on l'applique, en Silésie, à des puits ronds de petit diamètre.

La figure 184 est un détail à une plus grande échelle d'une trousse coupante.

Le système est également employé, dans la Ruhr, pour des puits rectangulaires à grande section. La tour présente alors, en section horizontale, la forme générale d'un rectangle; mais les côtés, au lieu d'être rectilignes, sont légèrement convexes au dehors, afin que la maçonnerie puisse agir comme une voûte pour résister à la pression du terrain.

C'est par le système de tours enfoncées dans le terrain, que s'exécutent, dans certaines localités, les puits à petite section et peu profonds, que l'on creuse pour avoir de l'eau.

A une autre extrémité de l'échelle, c'est par le même système qu'ont été exécutés, dans le temps, les puits de 14 mètres de diamètre qui servent d'accès au tunnel de la Tamise.

Dans ce travail, la question était de chercher, non pas à enfoncer, mais plutôt à retenir la tour qui tendait à descendre par son poids. Elle était portée sur un système de pilotis, dont on découvrait successivement les têtes pour les enfoncer, par le battage, à l'aide d'une sonnette.

La tour faisait un petit mouvement pour descendre sur la tête des pieux déjà enfoncés, en enfonçant elle-même la tête des autres.

Dans ces dernières années, le génie civil a employé un système analogue à celui qui vient d'être décrit, pour descendre, non pas des revêtements de puits, mais des fondations de maçonneries en mauvais terrains.

Au lieu de faire d'abord une fouille, puis de venir construire au fond de cette fouille, on élève la maçonnerie au-dessus du sol, et on la descend par son poids dans le terrain, en venant fouiller par dessous.

Le service de ces fouilles se fait par un puits réservé au milieu même de la maçonnerie. C'est, en somme, le même système que pour un puits de mine, sauf que la tour est remplacée par un mas-

Digitized by Google

sif rectangulaire, ayant la section qu'on veut donner au bloc de maçonnerie à descendre. Le travail suppose un terrain aussi mauvais que l'on voudra, mais ne donnant qu'une quantité d'eau limitée.

### § 3. — Données numériques sur le boisage et le muraillement.

(**202**) Nous nous bornerons d'abord à considérer les cas simples et courants, pour lesquels on peut arriver à des évaluations précises que ne comportent pas les travaux faits dans des terrains très-mauvais, surtout si ces terrains sont en même temps très-aquifères; car il peut arriver, dans ce dernier cas, que le gros de la dépense soit, non pas *l'exécution* du travail lui-même, mais *l'épuisement des eaux pendant cette exécution*

1° *Boisage à cadres d'une galerie.* — Supposons une galerie boisée avec des cadres sans semelles, dont les montants ont 2 mètres, le chapeau $1^m,50$, et qui sont munis de quelques garnissages.

Supposons un cadre et demi par mètre courant de galerie, et le bois à $0^m,60$ le mètre linéaire.

| | |
|---|---|
| Un cadre demandera $0^m,50$ de buttes; soit pour le mètre courant $8^m,25$ de buttes, à $0^f,60$ | $4^f,95$ |
| Nous supposerons 10 mètres courants pour garnissage, à $0^f,15$ | $1^f,50$ |
| Total des matières | $6^f,45$ |
| Main-d'œuvre totale pour amener les bois au chantier, les façonner, préparer l'emplacement et faire la pose, 2 francs par cadre, soit par mètre courant | $3^f,00$ |
| Total | $9^f,45$ |

Soit donc une dépense de 9 à 10 francs par mètre courant, pour un boisage solide, mais non excessif, dans une galerie à assez grande section.

2° *Boisage d'un puits.* — Soit un puits de 4 mètres sur $1^m,30$ dans œuvre, divisé en deux compartiments d'extraction et un de retour d'eau.

Digitized by Google

Supposons un cadre par mètre, formé de pièces équarries de $0^m,20$ de côté.

| | | |
|---|---|---|
| Il faudra : deux pièces de $4^m,40$ | $8^m,80$ | |
| Deux pièces de $1^m,70$ | 3,40 | |
| Deux pièces de $1^m,30$ | 2,60 | |
| Total | 14,80 | |
| Soit $14.80 \times 0.20^2 = 0^m,592$ à 80 francs | | 47f,36 |
| Poteaux dans les angles pour relier les cadres, 4 mètres à 1 franc | | 4,00 |
| 25 mètres courants pour garnissage à 0.15 | | 3,75 |
| Coulantage des compartiments, 5 mètres à 3 francs | | 15,00 |
| Total des matières | | 70,11 |
| Main-d'œuvre de pose et menus frais | | 10,00 |
| Total | | 80,11 |

Soit une dépense, en chiffres ronds, de 80 francs, non compris le service du jour, pour un boisage très-ordinaire, dans un puits dont la section est plutôt faible que forte.

3° *Muraillement ordinaire d'une galerie.* — Il faut faire quelques hypothèses sur les prix élémentaires à appliquer, prix qui peuvent varier beaucoup d'une localité à l'autre.

Nous supposerons le moellon à 5 fr. le mètre cube, à pied d'œuvre.

En Belgique, on trouvait, il y a quelques années, des briques cuites en tas à l'air libre, fabriquées avec de la terre prise sur place, au prix de 7 à 8 francs le mille. On en trouve encore à 10 francs, prix inférieur à ce qu'on obtient partout ailleurs. En admettant un prix double, soit 20 francs le mille, on est probablement encore *en dessous* plutôt qu'*en dessus* du prix moyen auquel on les obtient en France.

Un mètre cube de maçonnerie de moellons dépense 2 à 3 hectolitres de mortier, suivant la forme plus ou moins régulière des moellons, et demande $0^j,6$ d'un maçon avec son aide.

Un mètre cube de maçonnerie de briques pourra employer 500 briques, moins de 2 hectolitres de mortier, et une demi-journée seulement de maçon et de son aide.

Nous admettrons le mortier à 1 franc l'hectolitre, et la journée du maçon et de son aide à 6 francs.

Digitized by Google

Nous aurons ainsi, pour le mètre cube de maçonnerie :

| | AVEC DES MOELLONS. | AVEC DE LA BRIQUE. |
|---|---|---|
| Matériaux. . . . . | 5f | 10f |
| Mortier. . . . . | 3f | 2f |
| Main-d'œuvre. . . . . | 3f,60 | 3f |
| Total. . . . . | 11f,60 | 15f |

Prenons la galerie considérée au commencement du numéro 193.

| | |
|---|---|
| On aura 2 pieds-droits de 1m,20 sur l'épaisseur moyenne de 0m,80, soit par mètre courant 1m,92 à 11f,60. . . . . | 22f,27 |
| Une voûte d'une brique et demie sur 1 mètre de rayon cubera 1m,37 par par mètre courant; on estimera le mètre cube à 18 fr. au lieu de 15 fr., en doublant la main-d'œuvre, à cause de la sujétion qu'entraîne la construction de la voûte, soit 1m,37 à 18 fr. . . . . | 24,66 |
| Total. . . . . | 46,93 |

Soit 47 fr. le mètre courant, pour le maçonnement d'une galerie de mine ordinaire.

Ce prix est susceptible d'une très-sensible réduction, si les travaux souterrains fournissent des matériaux utilisables comme moellons. Il y aurait de ce chef une réduction de 9 fr. 60 à faire sur le prix des pieds-droits, et le prix de revient descendrait à 37 francs en nombre rond. Il s'abaisserait même à 23 ou 24 francs si les moellons étant pris dans la mine et toujours supposés ne rien coûter, on comptait en outre les briques à 10 francs le mille.

C'est, on le voit, un prix au moins double et pouvant être plus que quadruple du prix du boisage.

4° *Muraillement ordinaire d'un puits.* — Soit un puits rond de 4 mètres de diamètre intérieur, muraillé à 4 demi-briques.

| | |
|---|---|
| On aura par mètre courant 7m,07 à 18 fr.. . . . . | 127f,26 |
| Bétonnage par derrière sur une largeur moyenne de 0m,20, environ 3 mètres cubes à 10 fr. le mètre posé. . . . . | 30,00 |
| Total. . . . . | 157f,26 |

Soit, en nombre rond, 160 fr. par mètre, non compris le service de jour.

On doit retenir les nombres : 9 à 10 francs pour le boisage, 37 à 47 francs pour le muraillement d'une galerie de mine, et 80 francs

Digitized by Google

pour le boisage, 160 francs pour le muraillement d'un puits, comme étant des espèces de moyennes générales calculées *a priori*, et dont on s'écartera plus ou moins, dans chaque cas particulier, selon les variations que subiront les prix élémentaires au moyen desquels elles ont été établies.

(**203**) Les nombres ci-dessus s'appliquent à des travaux déterminés de boisage ou de muraillement.

Mais on peut aussi demander quelle serait, pour l'ensemble des travaux d'exploitation d'une mine, la dépense totale annuelle, rapportée à la production.

On doit concevoir que ce nombre est très-variable d'une mine à une autre, selon l'ensemble des circonstances locales, et que le boisage courant est généralement, et de beaucoup, la cause principale de la dépense.

D'ailleurs l'élément essentiel qui peut faire varier la dépense du boisage, dans l'exploitation d'une couche, est la solidité du toit.

On peut citer, pour donner un chiffre, l'exemple des mines de la Grand-Combe, pour lesquelles un relevé exact a fait connaître qu'une tonne de houille produite correspondait à une consommation d'une longueur de butte égale à $0^{m},5665$, au prix moyen de 0 fr. 65 le mètre; soit à une dépense de 0 fr. 37 par tonne de houille (main-d'œuvre des boiseurs non comprise).

Je pense que ce chiffre est plutôt modéré que fort, du moins pour les mines du continent.

En Angleterre, il existe certainement des mines où, malgré le prix élevé du bois, la dépense n'est pas la moitié de celle qui vient d'être indiquée.

Elle est au contraire beaucoup plus élevée dans les mines de la Belgique et du nord de la France.

En résumé, on devrait se considérer, en France, comme étant dans de *très-bonnes conditions*, si l'on dépensait moins de 0 fr. 25 à 0 fr. 30 pour une tonne de houille, dans *des conditions moyennes*, si l'on dépensait le double, et on pourrait citer des exemples où cette dépense atteint jusqu'à 1 fr. 50, 2 fr. et plus.

Ces variations étendues sont dans la nature des choses.

Digitized by Google

# CHAPITRE VIII

## DE L'EXÉCUTION ET DU SOUTÈNEMENT DES EXCAVATIONS DE FORMES OU DE DIMENSIONS SPÉCIALES

(**204**) Nous avons vu, dans les trois chapitres précédents, par quels procédés manuels, ou mécaniques, peuvent être *exécutés* d'abord, et ensuite par quels moyens peuvent être convenablement *consolidés*, les divers ouvrages courants que comporte l'exploitation d'une mine.

Ces ouvrages sont des puits et des galeries destinés à aller recouper le gîte en des points donnés, et des galeries, chantiers, ou tailles, que l'on pousse dans le gîte lui-même pour son exploitation.

Il convient, pour compléter ces indications, d'entrer dans quelques détails sur certains ouvrages spéciaux, qui constituent, pour ainsi dire, comme autant de *points singuliers* dans le réseau des travaux souterrains d'une mine.

Je considérerai successivement :

Les points d'embranchement des galeries ;

Les points où les galeries viennent déboucher dans les puits d'extraction, et d'où les produits de l'exploitation sont envoyés au jour, points que l'on désigne sous les noms de : *recettes intérieures*, *places d'accrochage*, ou *envoyages ;*

Les excavations faites pour servir de réservoir aux eaux ;

Les excavations spéciales pratiquées pour l'installation des machines qu'on place à l'intérieur des mines, telles : que machines à

Digitized by Google

vapeur ou à air comprimé, manéges, ou roues hydrauliques; enfin les galeries à grande section des tunnels pour les canaux ou les chemins de fer.

Ces derniers ouvrages, bien que ne se rattachant pas à l'exploitation, n'en doivent pas moins être familiers aux ingénieurs des mines souvent chargés de leur exécution.

(**205**) **Embranchements ou bifurcations des galeries.** — Ces points se présentent, par exemple, lorsqu'une galerie à travers bancs rencontre un gîte, et que du point de rencontre doivent partir deu galeries en direction sur ce gîte ; ou lorsque l'une de ces galeries en direction arrive à un point où le gîte se bifurque comme il arrive souvent dans un filon; ou encore lorsqu'une galerie en direction est croisée par une galerie tracée suivant la ligne de plus grande pente.

Si les galeries sont boisées l'une et l'autre, on place un fort cadre de boisage à l'entrée de chacune des quatre ou des trois branches distinctes qui partent du point d'intersection commun.

Le toit reste alors à découvert dans l'espèce de carrefour formé à ce point d'intersection ; mais il est facile de le maintenir, au besoin, par de fortes rallonges soutenues par les chapeaux de deux cadres placés en regard l'un de l'autre.

Si les galeries sont muraillées, le point d'intersection comporterait l'établissement d'une voûte d'arête ordinaire, à l'extrados de laquelle on bourrerait soigneusement des remblais jusqu'au toit, qui aurait dû être d'abord surélevé d'une certaine quantité pour permettre la construction de la voûte; mais il est souvent plus simple et plus pratique de se borner à surhausser la voûte de l'une des galeries, sur une longueur de quelques mètres, et de faire en sorte que le muraillement de l'embranchement soit tout entier contenu dans la hauteur du pied-droit de la première voûte.

Cette disposition est représentée par les deux coupes de la fig. 85, faites, l'une suivant l'axe de la galerie principale, l'autre suivant l'axe de l'embranchement.

(**206**) **Recettes ou places d'accrochage.** — La galerie qui aboutit

Digitized by Google

à un puits d'extraction doit s'élargir à l'approche de ce puits, de manière à former une gare où l'on puisse recevoir les convois de wagons pleins et former les convois de wagons vides ; elle doit donc présenter la largeur suffisante pour deux voies, et généralement déboucher dans le puits sur une largeur égale à celle du compartiment ou des deux compartiments d'extraction.

Souvent, en même temps, elle reçoit une hauteur plus grande, afin de faciliter la réception et l'envoyage des vases d'extraction, lorsqu'on ne se sert pas de cages, ou bien pour manœuvrer des cages très-longues à 3 ou 4 étages superposés.

L'accrochage est donc un point à établir dans des *conditions particulières de solidité*, à cause de la grande section du puits et de la galerie qui viennent s'y croiser, et aussi pour éviter les entraves que des réparations à faire sur ces points apportent nécessairement au service de l'extraction.

Si le puits est boisé, et par conséquent à section rectangulaire, les côtés des cadres qui sont du côté de la recette doivent être supprimés sur la hauteur de celle-ci, et ces cadres n'ont plus alors que trois ou deux côtés, selon que la recette est simple ou double, c'est-à-dire selon qu'il part du puits une seule galerie à travers bancs, ou deux galeries dirigées en sens contraires.

Le moyen général pour maintenir en service les côtés des cadres incomplets qui restent en place, consiste à remplacer l'effet des côtés supprimés par celui de pièces placées verticalement dans les angles du puits, contre les extrémités libres des côtés restés en place, et à maintenir ces pièces en serrage contre ces extrémités par des traverses spéciales, situées l'une au-dessus et l'autre au-dessous de l'ouverture de la recette. La figure 186 donne, en plan et en coupe verticale, une idée d'une recette établie dans un puits boisé.

Le boisage figuré pour les recettes ne sera pas toujours suffisant. Il faudra souvent employer des cadres très-forts presque juxtaposés; ou bien on remplacera les montants de ces cadres par des murs en bonne maçonnerie, terminés par d'épais madriers formant sablière, sur lesquels reposeront les chapeaux, qui seront ou de gros rondins, ou même des pièces de charpente équarries.

Digitized by Google

(**207**) On a même employé pour ces chapeaux, au lieu de pièces de bois, des pièces de fer (soit des fers spéciaux à double T, soit de vieux rails de grands chemins de fer) coupées de longueur et légèrement cintrées. Ces chapeaux placés, par exemple, à $0^m,50$ les uns des autres, peuvent être garnis extérieurement avec des rails de mine posés sur leur plat, qui jouent le rôle d'esclimbes.

Un semblable revêtement coûte plus cher qu'un boisage ordinaire, mais il est beaucoup plus solide, et il n'exige pas un entaillement aussi grand du rocher pour une hauteur donnée de la recette.

Un autre moyen également très-énergique de soutènement consiste à employer les bois de manière à mettre en jeu, non pas leur résistance à la flexion, comme dans les cadres ordinaires, mais bien leur résistance à l'écrasement; à les employer, par conséquent, dans les mêmes conditions que les pierres et les briques, c'est-à-dire comme des voussoirs.

On peut composer ainsi toutes les variétés de voûtes que l'on voudra : soit des voûtes complètes à plusieurs centres avec radiers, soit des voûtes posées sur des semelles ordinaires, convenablement entaillées à leurs extrémités pour former coussinets et frettées vers ces mêmes extrémités, pour les empêcher de se fendre. Les voussoirs auront, par exemple, $0^m,30$ d'équarrissage et $0^m,50$ de longueur suivant l'axe de la voûte, et les fibres parallèles à cet axe.

Tantôt, elles seront continues et à joints croisés, comme une voûte en maçonnerie ordinaire; tantôt, elles formeront une série d'arceaux discontinus, qu'on pourra entre-toiser avec quelques tirants en fer, et entre lesquels le rocher sera à nu, ou revêtu d'un garnissage s'appuyant à leur extrados, etc., etc.

Un tel mode de revêtement peut être moins dispendieux qu'un muraillement et même qu'un boisage à cadres, établis dans des conditions équivalentes de solidité, parce qu'on n'y emploie que des bois courts et de peu de valeur, des déchets, par exemple, provenant des sciages de quelque charpente.

Ces systèmes ont d'ailleurs un avantage important, qui est de donner lieu à des réparations moins fréquentes, et d'avoir une certaine souplesse qui leur permet de mieux résister que la maçonnerie aux

Digitized by Google

petits mouvements résultant, soit de la poussée naturelle des terrains, soit des travaux d'exploitation exécutés dans le voisinage.

L'emploi du bois comme voussoir mérite donc de fixer l'attention. C'est ici le lieu d'indiquer que dans certaines localités où le bois est abondant et à bon marché, on se sert de ce procédé, même pour certaines galeries de dimensions ordinaires. Le système s'applique à des terrains qui poussent fortement au vide, par exemple, à l'anhydrite qu'on rencontre dans l'exploitation de quelques salines. Cette roche, en s'hydratant lentement, foisonne et exerce sur les revêtements une pression croissante à laquelle aucun boisage ordinaire ne résiste longtemps.

Les figures 187 et 188 représentent des exemples des chapeaux en fer et des voûtes en bois dont il vient d'être parlé. Dans la voûte en bois on peut remarquer un cerclage en fer, placé à l'extrados et fixé aux voussoires inférieurs par des vis à bois. Cette disposition a pour objet de concourir à l'égale répartition de la pression sur les divers voussoirs. Elle n'est nullement indispensable.

(**208**) Si le puits est muraillé, l'intersection de la place d'accrochage, supposée à section rectangulaire, avec la colonne du puits, supposée être un cylindre droit à base circulaire, est un contour formé de deux lignes verticales et de deux arcs de cercle horizontaux.

Sur les lignes verticales seront deux montants, formés de pièces de bois d'un fort équarrissage, sur les faces externes desquelles viendra s'arc-bouter la maçonnerie du puits.

L'écartement de ces montants sera maintenu par leur assemblage avec deux portions de roulisse, dont la plus basse formera le seuil de la recette, et dont la plus haute, engagée par ses extrémités d'une certaine quantité dans la maçonnerie, servira de chapeau pour supporter la maçonnerie supérieure. On la soulagera d'ailleurs, si on le juge à propos, en la surmontant d'un arceau plus ou moins surbaissé, reportant la pression à droite et à gauche dans la masse de la maçonnerie inférieure.

D'autres fois, surtout quand la place d'accrochage a une grande hauteur, les deux montants sont supprimés; on se borne à établir la

Digitized by Google

roulisse supérieure pour supporter la maçonnerie placée au-dessus. Le faîte de la place d'accrochage se raccorde par un rampant avec celui de la galerie de roulage, et la maçonnerie du puits se raccorde avec celle de la place d'accrochage qui sert à la contre-butter. Cette disposition est représentée, en élévation et en plan, figure 189.

Quelque soin que l'on mette à ces constructions, elles ne suffisent pas toujours, quand les terrains chargent fortement, ou qu'ils sont mis en mouvement par l'exploitation.

Ces mouvements disloquent et contournent la colonne du puits, toujours établie bien verticalement à l'origine, de telle façon qu'il soit parfois impossible, sur la hauteur totale du puits, de tracer une ligne verticale *qui soit contenue entièrement dans l'intérieur de la colonne.*

C'est pour résister, autant que possible, aux effets de ces mouvements, qui se font sentir aux places d'accrochage, que ces places doivent être établies dans les meilleures conditions de solidité, et que, non content d'employer les matériaux et les procédés usuels, on a parfois recours, comme on l'a dit plus haut, à des matériaux plus résistants, tels que le fer, et à des dispositions spéciales, telles que les voûtes en bois.

(**209**) **Réservoirs pour les eaux.** — Il arrive souvent, lorsque les eaux ne sont pas fort abondantes, qu'on n'a pas d'autre réservoir, pour les accumuler pendant les interruptions quotidiennes ou accidentelles du service de l'épuisement, que le puisard formé en approfondissant de quelques mètres le puits d'extraction en contre-bas de la place d'accrochage.

On donnera au puisard, au moins 5 à 6 mètres, souvent 10, 15, 25 mètres et au delà, selon que *l'entretien d'eau* de la mine est plus ou moins considérable.

Un puisard, dans un puits de 4 mètres, peut tenir environ 125 hectolitres par mètre courant : soit pour 10 mètres de profondeur, une capacité de 125 mètres cubes, chiffre supérieur à l'entretien d'eau journalier d'un bon nombre de mines.

Mais si l'on prévoit des interruptions prolongées dans l'épuisement, et si l'entretien d'eau est assez grand, ou simplement si l'on



Digitized by Google

veut ne donner à élever aux puits d'épuisement que des eaux clarifiées, il sera bon d'avoir des réservoirs pouvant recevoir l'eau de plusieurs jours, d'où l'on enverra au puisard les eaux à extraire par les pompes, après qu'elles se seront clarifiées.

Ces réservoirs pourront être convenablement des galeries en direction, établies en contre-bas de la voie de fond servant au roulage, et communiquant avec cette voie par deux bouts de galeries inclinées, par lesquelles descendent les eaux qu'on ne voudra pas mener directement au puisard.

Le fond du réservoir est mis en communication avec le haut du puisard par un tuyau muni d'un robinet que l'on peut manœuvrer du niveau de la recette, à l'aide d'une longue tringle munie d'une poignée.

Un tel réservoir peut ne pas différer d'une simple galerie de direction, de dimension ordinaire.

Il devra généralement être voûté, même en terrain assez solide, afin de prévenir les effets de délitement que le contact prolongé de l'eau tend à produire.

On pourra d'ailleurs, au besoin, appliquer dans ces réservoirs, aux abords du puits, les moyens de soutènement indiqués pour les places d'accrochage (n° 207), sauf les chapeaux ou les garnissages en fer qui sont ici, à cause de la présence continuelle de l'eau, contre-indiqués.

(**210**) **Chambres de machines, écuries, etc.** — Ainsi qu'on l'a déjà dit, la tendance actuelle est de multiplier l'établissement des machines à l'intérieur des mines, pour divers objets, notamment pour les transports intérieurs sur niveau ou en remonte, et l'on peut présumer que cette tendance ne fera que s'accroître, à mesure que les mines plus profondes seront, en même temps et par cela même, plus étendues, et qu'on se familiarisera davantage avec l'emploi de l'air comprimé.

On a donc assez souvent, et l'on peut penser qu'on aura de plus en plus, de semblables installations à faire.

S'il s'agit d'un appareil à vapeur ou à air comprimé; le type ordinairement employé sera une machine horizontale à deux cylin-

Digitized by Google

dres conjugués, ne prenant pas de place en hauteur et pouvant ainsi être installée dans une chambre qui ne sera autre chose qu'un bout de galerie, dont la largeur et la hauteur seront proportionnées à l'appareil à y installer.

Une telle galerie sera muraillée, s'il y a lieu, comme une galerie ordinaire, avec deux pieds-droits et une voûte cylindrique.

Un manége comportera une chambre circulaire, à laquelle il sera difficile de donner moins de $2^m,50$ ou 3 mètres de rayon, avec une hauteur de $1^m,60$ à la circonférence et de 3 mètres au centre.

Une telle excavation ne sera pas toujours facile à maintenir dans des terrains peu solides.

On pourra le faire au moyen d'une maçonnerie circulaire, formant sur tout le pourtour de la chambre les coussinets d'une voûte sphérique surbaissée, au-dessus de laquelle on aura soin de ne laisser aucun boisage ni aucun vide.

Souvent aussi, pour avoir moins de sujétion dans la construction, la chambre sera carrée et recouverte d'une voûte cylindrique, le cercle du manége étant inscrit dans ce carré.

(**211**) Les chambres destinées à des récepteurs hydrauliques ne comportent de formes particulières que dans le cas de roues à augets de grand diamètre, comme on en voit de nombreux exemples dans l'exploitation des filons métalliques, où le relief a souvent permis de créer des chutes d'eau plus ou moins considérables avec des galeries d'écoulement.

La forme générale d'une telle chambre est celle qu'on a indiquée pour un manége, avec cette différence que la grande dimension est dans un plan vertical, au lieu d'être dans un plan horizontal.

Une chambre de manége est *une sorte de lentille placée horizontalement;* une chambre de roue à augets est un espace *d'une forme analogue, placé verticalement.*

Cette dernière est donc par là beaucoup plus facile à soutenir. Sa position naturelle est dans un plan perpendiculaire à la direction du gîte exploité, et par conséquent aussi à la direction du terrain, si ce gîte est une couche ou un filon-couche.

Souvent les grandes faces, entre lesquelles se meut la roue hy-

Digitized by Google

draulique, peuvent ne pas être muraillées; on se borne à leur donner une forme légèrement concave, parce que si elles étaient tout à fait planes, la tendance à pousser au vide, qui n'est jamais absolument nulle, amènerait trop facilement des éboulements dans la partie centrale insuffisamment bridée. Quelquefois, ces faces doivent être revêtues d'une maçonnerie. On lui donne la forme d'une voûte cylindrique très-surbaissée dont l'axe est vertical.

Le canal d'amenée des eaux et le canal de fuite sont, suivant les cas, dans le plan de la chambre ou dans un plan perpendiculaire, selon que ce sont des galeries à travers bancs ou des galeries en direction sur le gîte.

Les figures 190 et 191, extraites de l'ouvrage précité de M. Gatzschmann, représentent deux chambres de roues hydrauliques, établies dans des plans perpendiculaires aux filons, la première en terrain solide, la seconde en terrain demandant un muraillement complet.

(**212**) **Tunnels à grande section.** — Les tunnels à grande section, établis pour un canal ou pour un chemin de fer, diffèrent essentiellement, à divers points de vue, des galeries de mine.

Une galerie de mines de 2 mètres de largeur et de 2 mètres de hauteur sous clef a $3^m,5$ de section; un grand tunnel a souvent une section plus que décuple.

Cette grande section et le caractère permanent de l'ouvrage ne permettent pas l'emploi du boisage comme moyen de soutènement. Le tunnel reste donc sans aucun soutènement, si le terrain est très-solide; il est *essentiellement muraillé*, si le terrain a besoin d'être soutenu.

En général, le temps de l'exécution est un élément très-important à considérer dans un travail de ce genre, qui ne commence à rendre des services que lorsqu'il est entièrement terminé, et qui, en attendant, laisse *entièrement improductifs* les capitaux qui lui ont été consacrés, et *en partie* ceux, souvent beaucoup plus considérables, qu'ont absorbés les deux lignes dont il doit servir à opérer la jonction.

On exécutera donc, en général, un ouvrage d'art de ce genre, non-

Digitized by Google

seulement en travaillant aux deux têtes, mais encore en établissant des puits intermédiaires distribués le long de l'axe du tunnel, au moyen desquels on pourra multiplier les points d'attaque. De chacun de ces puits partiront en effet deux chantiers alignés sur l'axe du tunnel, marchant à la rencontre des chantiers semblables partant des deux puits contigus.

Ces puits seront d'autant plus multipliés que l'on voudra pousser l'ouvrage plus vite, et leurs espacements seront *d'autant moindres* qu'il seront *plus profonds*, de manière que les divers puits étant supposés commencés à la même époque, les rencontres des chantiers. partant de deux puits consécutifs quelconques, se fassent aussi à peu près en même temps.

Les dépenses de première installation, et jusqu'à un certain point celles d'exécution, notamment en ce qui concerne la surveillance des chantiers et les frais d'extraction des déblais et de l'eau, augmenteront avec le nombre des puits; mais il est naturel que l'avantage d'une exécution plus prompte ne soit pas obtenu gratuitement. Il y a, dans chaque cas, un compte à faire entre le supplément de frais qu'entraînera la multiplication des puits, et le bénéfice que produira une plus prompte mise en exploitation.

Ces calculs montreront le plus souvent qu'on a *un très-grand intérêt*, sur une ligne importante, à multiplier beaucoup les points d'attaque, de manière que l'achèvement du travail retarde le moins possible l'ouverture de la ligne entière. C'est dans cet esprit qu'on a opéré, par exemple, sur la ligne de la Méditerranée, pour le souterrain de la Nerthe, d'environ 5 kilomètres de longueur (le plus long ouvrage de ce genre dans le monde, avant l'exécution récente du tunnel de Hoosac, aux États-Unis, et du tunnel du Mont-Cenis en Europe, qui ont respectivement 7,600 et 12,200 mètres).

Le souterrain de la Nerthe a été exécuté à l'aide de 24 puits intermédiaires, dont le plus profond a eu 150 mètres, donnant, avec les deux têtes, 50 points d'attaque. La longueur *moyenne* de chaque chantier a donc été seulement d'une centaine de mètres, et elle a été moindre dans la partie centrale, où les puits avaient le plus de profondeur.

Les circonstances ne permettent pas toujours d'en agir ainsi. Au

Digitized by Google

Mont-Cenis, par exemple, les puits, dans la plus grande partie du parcours, auraient dû avoir de très-grandes profondeurs, allant jusqu'à 1,000 mètres et plus dans la partie centrale, et on aurait eu à les établir sur des points n'offrant pas, en main-d'œuvre et en force hydraulique, les ressources que l'on trouvait aux deux têtes du souterrain. On n'a donc pas voulu aborder ces profondeurs exceptionnelles, avec toutes leurs éventualités, et l'on a cherché à résoudre, par l'emploi de moyens mécaniques, la question d'une exécution rapide, tout en ne travaillant qu'aux deux têtes. La réussite a été complète, et il est permis de croire que le souterrain a été exécuté, peut-être *aussi promptement*, et sans doute *avec beaucoup moins de frais*, que si l'on avait multiplié les points d'attaque en y employant les procédés ordinaires.

C'est la même marche que l'on suit, et avec raison, pour le percement du Saint-Gothard, qui vient d'être commencé et dont la longueur totale doit être d'environ 16 kilomètres.

Je crois que l'on peut justifier tout aussi bien la marche inverse suivie au souterrain de la Nerthe, dans des circonstances essentiellement différentes, et l'on peut en conclure qu'il y a, dans un cas donné, une étude préalable très-sérieuse à faire, pour décider laquelle des deux mérite la préférence.

(**213**) Cette étude se prête d'ailleurs au calcul, au moins sous une de ses faces :

Désignons, en effet, par $q$ la dépense connue, et *à peu près constante*, d'établissement d'un puits, tous frais compris pour acquisition de terrain et installations extérieures ;

$x$ le nombre inconnu de puits d'une profondeur peu variable, à ouvrir sur une longueur $l$;

S la section à déblayer ;

S′ la section du revêtement ;

P et P′ les prix du transport à 1 mètre de distance du mètre cube de déblai, et du mètre cube de matériaux pour les revêtements.

Le prix total du transport, calculé sur la moyenne distance $\frac{l}{4x}$,

Digitized by Google

sera pour le déblai

$$PS \times l \times \frac{4x}{l} = PS \frac{l^2}{4x}$$

et on aura de même, pour les matériaux du revêtement,

$$P'S' \frac{l^2}{4x}.$$

La dépense totale Q sera donc

$$Q = xq + (PS + P'S') \frac{l^2}{4x} \qquad (1)$$

Le minimum correspondra à $\frac{dQ}{dx} = 0$.

soit

$$q - \frac{l^2}{4x^2} (PS + P'S') = 0.$$

$$x = \frac{l}{2} \sqrt{\frac{PS + P'S'}{q}} \qquad (2)$$

La valeur correspondante de $q$ sera donnée par la formule

$$Q = \frac{l}{2} \sqrt{q(PS + P'S')} + (PS + P'S') \frac{l^2}{4} \times \frac{2}{l} \sqrt{\frac{q}{PS + P'S'}}$$

$$= l \sqrt{q(PS + P'S')} \qquad (3)$$

et l'espacement des puits $\frac{l}{x}$ par la formule

$$D = \frac{l}{x} = 2 \sqrt{\frac{q}{PS + P'S'}} \qquad (4)$$

L'égalité (1) donnera la dépense pour un nombre donné $x$ de puits réparti sur une longueur $l$;

L'égalité (2), le nombre $x$ qui correspond au minimum de dépense ;

Les égalités (3) et (4), la valeur de ce minimum, et l'écartement correspondant entre les puits.

On remarquera que, dans le cas du minimum, la dépense totale

Digitized by Google

des puits est égale à la somme des frais de transport intérieur des déblais et des matériaux.

A l'aide des formules ci-dessus, on aura *un aperçu* des dépenses auxquelles on serait conduit avec des puits *diversement espacés*, et on comparera les résultats avec les conséquences financières qu'amènerait un retard ou une avance donnés, dans l'exécution du travail.

Nous disons *un aperçu* seulement ; car la question n'est pas envisagée, dans le calcul sommaire ci-dessus, sous toutes ses faces, parce qu'il faudrait faire entrer dans la dépense totale d'un puits, non-seulement les frais de premier établissement, mais encore les frais de service de ce puits, frais qui dépendent de la durée de ce service et par conséquent de l'écartement entre les puits.

(**214**) Supposons la question résolue dans le sens de l'emploi des puits intermédiaires, on aura à faire l'étude détaillée du projet : on déterminera, d'après le profil en long, quelles profondeurs auraient les puits placés en des points donnés de l'axe. Une étude géologique détaillée fera connaître la nature des terrains à traverser, les probabilités d'y trouver des eaux plus ou moins abondantes, etc.

On appréciera, aussi bien que l'on pourra, à l'aide de ces éléments, la durée probable de l'exécution de chaque puits, et la vitesse d'avancement des chantiers qu'on y établira.

On déduira de cette étude la manière dont les puits devront être distribués, pour satisfaire à la condition ci-dessus énoncée que les rencontres des chantiers marchant l'un vers l'autre se fassent à peu près à la même époque sur toute la longueur du travail.

Des opérations géodésiques très-soignées, ayant repéré sur le terrain l'emplacement d'un puits à foncer pour aboutir à un point donné de l'axe du souterrain, rien n'empêche de le déplacer d'une certaine quantité latéralement à l'axe, afin de chercher, s'il y a lieu, un emplacement plus favorable pour le service du jour. Il suffit, arrivé à la profondeur calculée, de faire un bout de galerie d'une longueur donnée pour se reporter sur l'axe du souterrain, et de l'extrémité de cette galerie, suivant une direction donnée avec pré-

Digitized by Google

cision, d'ouvrir les deux chantiers qui doivent marcher à la rencontre des chantiers venant des deux puits contigus.

(**215**) Sans nous occuper ici ni des opérations géométriques à l'aide desquelles on assurera la précision de la rencontre des divers chantiers, ni des moyens que l'on pourra employer pour établir les puits de service et pour y assurer le service de l'épuisement, du sortages des déblais, de la ventilation, etc., nous nous bornerons à dire d'une manière générale que toutes les installations doivent être faites *largement*, sous le rapport de la puissance, mais en ayant égard à leur peu de durée; ainsi, par exemple, la machine d'extraction devra être d'une force amplement suffisante; mais une simple baraque en planches suffira pour l'abriter. Le puits devra être solide, mais il sera plus souvent boisé que muraillé, etc., etc.

(**216**) Pour le moment, nous ne considérerons que le travail des ouvriers directement employés à l'avancement et au muraillement du chantier sur une section donnée.

Ce travail, comme celui des galeries de mines à petite section, diffère essentiellement, selon la nature des terrains. Les méthodes employées se rapprochent beaucoup de celles indiquées pour ces galeries ; mais on doit concevoir que l'application en est généralement rendue plus difficile par la grandeur de la section, l'augmentation de la difficulté étant d'ailleurs d'autant plus marquée, pour une section donnée, que les terrains sont plus mauvais.

Aussi peut-on dire, malgré l'exemple du tunnel sous la Tamise, que les mineurs, *avec leurs petites galeries*, passent dans des terrains où les tunnels à grande section ne seraient peut-être pas praticables.

Quel que soit le terrain, on commence par pratiquer une galerie à petite section, assez habituellement à la hauteur qu'occupera le cerveau de la voûte, quelquefois, au contraire, au niveau du radier, et on la pousse aussi activement que possible, de manière à hâter le moment où la communication s'établit avec le puits voisin.

Cette manière de procéder a plusieurs avantages. La communication peut être utile pour faciliter la ventilation ; elle assure la re-

Digitized by Google

traite des ouvriers en cas d'éboulement, ou si une circonstance quelconque arrêtait le service de l'extraction, si, par exemple, le feu prenait au boisage du puits, comme on en a vu un exemple terrible au souterrain de Hohenstein, en Suisse, accident qui a entraîné la mort par asphyxie de tout le personnel alors occupé à l'intérieur du puits. Elle permet de s'assurer matériellement s'il n'a été fait aucune erreur de tracé, et, dans le cas où la rencontre des deux avancements ne se serait pas faite avec la précision voulue, de faire les corrections nécessaires, en plan et en élévation, pour le raccordement exact des deux grandes sections.

Enfin, chose importante, elle permet de multiplier, autant qu'on le veut, le long de la petite galerie, les chantiers d'élargissement ou de battage au large; de sorte qu'on arrive à terminer la grande section presque en même temps que la petite.

(**217**) Supposons donc cette dernière en cours d'exécution, et voyons comment se fait, en arrière, le travail d'élargissement, et, s'il y a lieu, celui de muraillement.

Supposons encore, pour fixer les idées, que le souterrain ait, comme celui de la Nerthe, une section elliptique, avec une largeur de $7^{m},25$ au niveau de la corde du radier et une hauteur et une largeur maxima de 8 mètres. Il en résulte une section plus grande qu'il n'est strictement nécessaire pour un chemin de fer à deux voies.

C'est donc un maximum qu'on n'aura pas à dépasser, en général.

Si le terrain est solide et peut ne pas être muraillé, ou du moins ne l'être que légèrement et par places, sans qu'il y ait aucune solidarité obligée entre le travail de percement et celui de muraillement, le premier travail s'exécute d'une manière très-simple.

La galerie d'amorce est poussée sur une section réduite, de 5 ou 6 mètres au plus, avec une hauteur à peu près égale au tiers de la hauteur totale du souterrain. On y travaille jour et nuit sans interruption, par postes de huit heures au plus, à la poudre, ou mieux à la dynamite.

Chaque fois que cette galerie est avancée de 4 à 5 mètres, on peut ouvrir, à une petite distance en arrière de l'avancement, un chan-

Digitized by Google

tier d'égale largeur pour battre au large toute la partie supérieure de la section.

Reste à lever le stross, occupant la partie inférieure sur les $\frac{2}{3}$ de la hauteur du souterrain. On l'abat successivement, en 2 ou 3 gradins formant autant d'ateliers distincts.

On voit qu'on peut occuper ainsi, en les répartissant sur une certaine longueur, un assez grand nombre d'ouvriers.

Cette longueur comprendra, par exemple, 4 mètres pour l'avancement de la petite galerie, autant pour le battage au large sur une face, et une dizaine de mètres peut-être pour chaque gradin, soit en tout environ 40 mètres, lorsque le travail sera en pleine activité.

Ce mode de travail est représenté figure 128. C'est celui qui a été décrit au chapitre V, lorsqu'il a été question de l'abattage en général.

(**218**) Lorsque le terrain, quoique encore solide, demande à être soutenu provisoirement par un boisage ou blindage, et à être bientôt muraillé, on peut procéder de la manière suivante :

La galerie d'amorce étant avancée sur un certain nombre de mètres et boisée selon les besoins, on opère sur une reprise d'une longueur de 2 à 3 mètres, 4 mètres au plus, en battant au large, à droite et à gauche, jusqu'à ce qu'on ait obtenu une excavation capable de recevoir la maçonnerie de la voûte.

On boise cette excavation avec des *soleils*, c'est-à-dire avec des buttes placées en divergeant, à peu près suivant les rayons de la voûte, soutenues par le pied sur une forte semelle, ou entrait, formée de deux pièces assemblées par un trait de Jupiter, pour faciliter la mise en place et la dépose, et occupant toute la largeur de l'excavation. On place un semblable soleil aux deux bouts de l'excavation, et un troisième au milieu, s'il est nécessaire. Selon la nature du terrain, chaque butte est appuyée directement contre le rocher, ou par l'intermédiaire d'un écoin plus ou moins long, formant garnissage.

Ce boisage achevé, on doit procéder immédiatement à la pose de la voûte. Pour cela, on place sur le sol, pour constituer les coussinets de la voûte, des sablières formées d'épais madriers en bois de

Digitized by Google

chêne, on met les cintres en place, et on commence à construire la maçonnerie de part et d'autre, à partir des naissances, enlevant successivement les buttes et les rallonges, bourrant derrière la maçonnerie et posant successivement de nouvelles douelles.

Lorsque les deux arcs de maçonnerie se sont rapprochés au point qu'il n'y a plus que quelques briques à poser pour former la clef, on les pose avec du mortier spécialement hydraulique ou du ciment, en commençant, pour ces dernières briques, par poser la rangée de l'extrados avant la rangée de l'intrados.

Ce travail répété sur plusieurs reprises consécutives, on a une excavation de longueur quelconque, munie d'une voûte continue, dont les coussinets reposent sur une série de madriers qui portent sur le sol, ainsi que sur les entraits du boisage primitif.

On fait alors, à droite et à gauche de cette première excavation et à l'aplomb de l'intrados, deux excavations d'une longueur quelconque, d'une largeur de $1^{m},50$ au plus, et qui descend jusqu'au niveau du radier. Ces deux espèces de tranchées laissent entre elles une masse de rocher qui sert à supporter les entraits, et par conséquent contribue à maintenir en place les madriers des naissances.

Cela fait, on bat au large, par reprises d'une certaine longueur, en dessous des sablières, et l'on soutient celles-ci, au besoin, par quelques buttes, à mesure que leur face inférieure est mise à découvert. Dans le vide créé par ce battage au large, on élève un pilier de maçonnerie, laissant, à ses deux extrémités, les pierres d'attente nécessaires pour le raccorder avec le pilier contigu.

Chaque pilier est ainsi poussé jusqu'à être en contact avec les sablières, et l'ensemble de ces piliers, convenablement raccordés, forme une maçonnerie continue, servant de pied-droit à la voûte.

Il ne reste plus alors qu'à enlever le massif central, et, si cela est nécessaire, à placer le radier, qu'il est très-facile de pousser jusque sous les pied-droits pour leur servir de point d'appui.

Ce travail revient en définitive :

1° A pousser une galerie au faîte de l'excavation, puis à battre au large *à droite et à gauche*, et à mettre la voûte en place;

2° A pousser ensuite deux tranchées étroites, dans chacune desquelles on bat au large, sur la droite dans l'une, sur la gauche dans

Digitized by Google

l'autre, jusqu'au-dessus des sablières, et à poser les pied-droits ;

3° A enlever, enfin, à loisir, le massif laissé entre ces deux tranchées, et à poser, s'il y a lieu, le radier complétant la maçonnerie.

Ce système suppose que le terrain a une certaine consistance ; de telle sorte que le massif réservé entre les deux galeries inférieures contribue matériellement à soutenir la voûte par l'intermédiaire des entraits qui reposent sur lui. Ce massif serait *inutile*, s'il ne remplissait pas cet objet, et il serait *nuisible*, s'il avait besoin lui-même d'être étayé pour maintenir ouvertes les deux tranchées inférieures.

(**219**) Quand cette circonstance se présente, ce qui suppose qu'on est en mauvais terrain, demandant habituellement un muraillement elliptique complet, avec radier en voûte renversée, la meilleure marche à suivre paraît être d'imiter le procédé décrit au n° 195 pour les galeries de mine ordinaires, établies dans des terrains de ce genre, et *qu'on veut* murailler immédiatement.

La seule différence c'est que ce muraillement immédiat, *facultatif* avec les galeries de mines, est *obligatoire* avec les tunnels à grande section.

Dans un cas semblable, le travail sera conduit de la manière suivante, en procédant par reprises de 3 à 4 mètres de longueur au plus :

On bat au large, à droite et à gauche de la galerie supérieure, jusqu'à ce qu'on ait fait l'emplacement de la voûte ; on boise au fur et à mesure, au moyen de fortes rallonges appuyées longitudinalement contre le toit, engagées, par un bout, derrière le dernier bandeau de maçonnerie exécuté, et, par l'autre, dans une petite excavation faite dans le rocher du front de taille ; elles sont, en outre, soutenues par quelques piquets posés provisoirement.

On place des garnissages derrière ces rallonges, selon les besoins.

Le battage au large terminé, on pose sur le sol, en travers de l'excavation, en logeant leurs extrémités dans le terrain, deux grands entraits en deux pièces, qui servent chacun de base à un soleil, dont les buttes, posées en divergeant, soutiennent les rallonges en deux points, et remplacent les piquets provisoires.

Digitized by Google

L'excavation supérieure se trouve ainsi exécutée, y compris l'emplacement de la voûte ; elle est étayée provisoirement, mais on ne va pas encore poser cette voûte, comme dans le cas précédent, parce qu'on ne trouverait pas pour elle de point d'appui suffisant.

On creuse, dans l'axe du souterrain, une tranchée dont les parois sont à peu près le prolongement de celles de la galerie qui avait été tracée à la partie supérieure et qui n'existe plus ; on bat au large à droite et à gauche, on soutient les entraits à mesure que leur face inférieure est apparente, au moyen de quelques piquets posés obliquement ; puis, l'élargissement terminé, on place de nouveaux entraits à l'aplomb des premiers, et sur ces entraits une série de buttes, les unes verticales, pour soutenir les entraits supérieurs, les autres obliques, pour soutenir les quelques rallonges qui doivent maintenir les parois de la nouvelle excavation.

Cela fait, on creuse une seconde tranchée à l'aplomb de la première et on recommence les mêmes opérations que ci-dessus, sauf que les buttes qui soutiennent et roidissent le second entrait, prennent leur point d'appui sur le sol.

On exécute ainsi, en trois fois, une excavation qui a 4 mètres de longueur suivant l'axe, et qui a la hauteur et la largeur nécessaires pour y loger la maçonnerie devant former le revêtement définitif.

L'état de choses est alors le suivant :

L'excavation est parfaitement boisée, malgré ses grandes dimensions, avec des pièces de longueur ordinaire, grâce à l'emploi des entraits.

Les buttes et les entraits correspondants constituent des fermes, au nombre de deux ou trois, une vers chaque bout, et quelquefois une sous le milieu des rallonges. Les entraits de ces fermes sont convenablement entretoisés.

Le front de taille est maintenu au besoin, s'il tend à pousser au vide, au moyen de madriers arc-boutés par des contre-fiches.

En avant de cette excavation se trouve la galerie supérieure dont on continue l'avancement. En deçà se trouve le muraillement de la reprise précédente, qui vient d'être terminé et qui supporte les extrémités des rallonges de l'excavation encore boisée.

Il s'agit maintenant de murailler cette excavation. Pour cela, on

Digitized by Google

pose d'abord le radier en forme de voûte renversée ; il est en briques ou en moellons, mais il se termine de part et d'autre par des pierres d'échantillon taillées de manière à former coussinet pour le muraillement elliptique, ou à plusieurs centres, dont les parois latérales et supérieures du tunnel doivent être revêtues.

On construit cette maçonnerie en se guidant sur des gabarits convenablement placés ; à mesure que les assises s'en élèvent, on ôte les rallonges et les garnissages, et l'on bourre exactement tous les vides.

Arrivé à la voûte proprement dite, on met les cintres en place et successivement de nouveaux rangs de douelles à mesure que la maçonnerie avance; on continue d'enlever les rallonges autant que possible. Pour celles qu'il faut laisser en place, de peur d'amener des éboulements immédiats, on leur ménage dans la maçonnerie un logement qui leur présente un certain jeu, ce qui permettra éventuellement, lorsqu'elles ne seront plus en serrage, de les tirer en avant pour le boisage de la reprise suivante. On bourrera, aussi bien que possible, le vide qu'elles laisseront par suite de ce déplacement.

Tel est le système qui semble pouvoir être suivi dans le cas de terrains assez ébouleux, mais non entièrement dépourvus de consistance.

On remarquera comment on parvient, dans ce système, à boiser, avec des buttes de dimensions ordinaires et maniables, une excavation ayant une section aussi grande que l'on voudra ; comment, aussi, on arrive à substituer à ce boisage un muraillement exécuté tout d'une pièce de bas en haut, par conséquent dans de meilleures conditions de liaison et de solidité que si l'on avait opéré par reprises descendantes.

La figure 192 représente une coupe transversale du système, au moment où l'excavation étant complète et encore entièrement boisée, on a posé le gabarit à l'aide duquel on va construire le radier et les premières assises de la voûte.

(**220**) Nous venons de dire que le système ci-dessus s'applique à des terrains qui ont, bien qu'ébouleux, une certaine consistance.

Digitized by Google

Que devrait-on faire si cette dernière condition n'était pas remplie, et qu'on eût affaire à des terrains coulants?

Je crois qu'on peut répondre que le mieux serait de *changer le tracé* du canal ou du chemin de fer projeté, pour éviter d'avoir à traverser en tunnel de semblables terrains. Que si ce point du tracé était absolument imposé, on peut penser que cette traversée constituerait une *excessive difficulte*, mais non pas peut-être une *impossibilité absolue*.

Le procédé à suivre devrait être analogue à celui qui a été suivi par le célèbre Brunel, pour le tunnel qu'il a établi sous la Tamise.

Ce système, caractérisé par l'emploi de ce que Brunel désignait sous le nom de *bouclier*, repose, au fond, sur les mêmes principes que le procédé qui vient d'être décrit.

Il faut se représenter que la maçonnerie s'exécute, par une série de reprises de petite longueur, sur tout le périmètre du tunnel. Le bouclier, qui est placé en avant de la dernière reprise, est un grand cadre métallique divisé par des cloisons en un certain nombre de compartiments. Chaque compartiment, dont les bords externes sont tranchants, est fermé par une porte mobile qui peut être plus ou moins enfoncée dans ce compartiment. Le travail d'avancement se fait en ouvrant ces compartiments les uns après les autres, grattant ou laissant couler le terrain et refermant aussitôt.

On avance le bouclier tout entier au moyen de sortes de crics à vis, ou mieux encore au moyen de presses hydrauliques, qui agissent horizontalement en prenant leur point d'appui sur le dernier bandeau de maçonnerie exécuté. Pendant qu'ils agissent on règle la position des portes dans leurs compartiments respectifs, en leur permettant de reculer peu à peu, à la demande du terrain qui les pousse par derrière.

L'intervalle entre le bouclier et la maçonnerie est entièrement garni par une série de longues et étroites palplanches en fer, dont les extrémités sont toujours maintenues derrière la maçonnerie d'une part, et contre la tranche du bouclier d'autre part, et qu'on peut toujours faire avancer en les prenant les unes après les autres.

Tel est à peu près le système, plus facile à concevoir et à décrire qu'à exécuter, qui a été suivi par Brunel.

Digitized by Google

Ce travail a coûté beaucoup de temps et beaucoup d'argent, et il est resté jusqu'à présent unique dans son genre.

On peut trouver des terrains plus difficiles que les alluvions de la Tamise ; on trouvera rarement un ingénieur aussi intelligent et aussi plein de ressources que l'était Brunel,

Aussi peut-on penser que ce système pourrait, dans plus d'un cas, rester en échec, et qu'on doit, en définitive, n'aborder le problème de l'établissement d'un grand tunnel en terrain très-coulant que dans le cas où des nécessités impérieuses excluraient toute variante de tracé permettant d'éviter ce travail.

(**221**) **Agrandissement d'un tunnel.** — Il est assez habituel, quand on fait un chemin de fer de deuxième ordre, tout en ne lui donnant provisoirement qu'une seule voie, de réserver l'avenir, en faisant de suite, pour deux voies, tous les ouvrages d'art. Parfois aussi, quelques-uns de ces ouvrages eux-mêmes n'ont été faits que pour une voie, et la pose de la deuxième voie, si l'on se décide à la faire, entraîne leur remaniement, ou, s'il s'agit d'un tunnel, l'agrandissement convenable de sa section.

Ce travail peut donc se présenter quelquefois à l'ingénieur. C'est ce qui a eu lieu, par exemple, il y a quelques années, pour le souterrain de Terre-Noire, sur la ligne de Saint-Étienne à Lyon.

On peut, en principe, considérer le souterrain à section réduite, comme étant, en quelque sorte, l'équivalent de la galerie amorce dont il a été parlé dans les numéros précédents, et le travail d'élargissement comme une sorte de battage au large. Seulement, ce travail doit s'exécuter sans arrêter aucunement le service des trains qui circulent dans le tunnel. Cette sujétion sera généralement tout à fait obligatoire.

On commence par mettre en place un plancher solide en forts madriers, dit plancher de sûreté, à la hauteur strictement suffisante pour laisser passer les locomotives, en raccourcissant, s'il le faut, les cheminées de celles qui font le service du tunnel. C'est sur ce plancher que se posent les ouvriers et qu'on reçoit les déblais provenant du battage au large, ou les matériaux nécessaires pour la nouvelle voûte; des ouvertures, ménagées de distance en dis-



Digitized by Google

tance dans ce plancher, mettent les ouvriers en communication avec les wagons qu'on leur amène dans l'intervalle du passage des trains réguliers. Le travail se fait en crevant l'ancienne voûte sur un point à la hauteur des naissances, se plaçant ainsi à l'extrados de cette voûte et battant au large pour faire l'emplacement de la voûte à lui substituer.

L'excavation est boisée provisoirement avec des piquets dont le pied repose sur le terrain ou sur le plancher de sûreté. On pose les cintres et l'on construit la nouvelle voûte. Celle-ci s'appuie d'un côté sur le terrain, s'il est assez solide, ou sur un cours de sablières reposant sur le terrain, et de l'autre côté sur le pied-droit de l'ancienne maçonnerie.

Ce premier travail terminé et le plancher de sûreté enlevé, on se replace au niveau du sol de la galerie, et on bat au large sur un côté, en procédant par reprises de 2 mètres à $2^m,50$ ; puis on élève les pieds-droits jusque sous la sablière.

De l'autre côté, après avoir déplacé la voie, on refait en entier ou on répare l'ancien pied-droit resté en place.

La figure 193 représente les phases successives de l'opération ci-dessus décrite.

(**222**) Ces exemples d'ouvrages, ou de travaux d'art spéciaux, pourraient être multipliés ; mais ceux qui viennent d'être indiqués suffisent pour exposer les principes à appliquer aux différents cas qui se présenteront dans la pratique.

Les différents chiffres indiqués précédemment permettront d'évaluer approximativement le coût d'un ouvrage de ce genre, en tant qu'il s'agit *de l'excavation* et *du soutènement* exécutés dans des conditions moyennes.

Mais à ces nombres s'ajoutent naturellement les dépenses accessoires de transport intérieur et d'extraction qui peuvent varier beaucoup, celles d'épuisement qui peuvent varier bien davantage, enfin celles, qu'il est impossible de chiffrer d'avance, des accidents auxquels on est exposé, dans le cas de terrains très-difficiles.

C'est ainsi, par exemple, qu'on a fait des tunnels de petite longueur, dans des terrains faciles, pour moins de 700 francs par mè-

Digitized by Google

tre courant, toutes dépenses comprises; qu'un prix de 1,000 francs le mètre peut encore être considéré généralement comme très-favorable ; qu'on peut admettre un prix de 1,500 à 2,000 francs dans des terrains durs; mais qu'on pourrait citer des exemples de 3,500 à 4,000 francs et plus, dans les circonstances où l'on a été gêné par les eaux et par la nature éboulеuse des terrains.

Un examen spécial est donc nécessaire, lorsqu'on a un travail de ce genre à entreprendre, pour chercher entre ces limites, nécessairement fort écartées, le prix qui pourra convenir au cas où l'on se trouve; et avec quelque soin que cet examen soit fait, on ne peut espérer arriver à un résultat bien précis, à cause des éventualités dont la part est, comme nous venons de le dire, impossible à faire à l'avance.

Un semblable travail ne peut guère être exécuté en régie pure et simple par une grande compagnie, sous peine de donner lieu à des gaspillages de main-d'œuvre difficiles à éviter ; d'un autre côté, un entrepreneur, qui s'en charge à un prix ferme, doit nécessairement tenir compte des chances malheureuses qu'il est exposé à rencontrer, et il en résulte une charge stérile pour la compagnie, si ces chances ne se présentent pas.

Il paraît donc préférable, soit d'employer directement un système de tâcherons, qui se chargent, sur séries de prix, des ouvrages divers que comporte l'exécution du travail, soit d'établir un système de régie intéressée, dans lequel l'agent chargé de l'exécution participe, dans une proportion déterminée, au bénéfice réalisé en fin de compte sur un certain prix de revient, évalué à l'avance et servant de base.

Digitized by Google

# CHAPITRE IX

## DE L'EXÉCUTION ET DU SOUTÈNEMENT DES EXCAVATIONS DANS LES TERRAINS TRÈS-AQUIFÈRES

(**223**) Nous avons vu, dans les chapitres précédents, les moyens d'exécution et de soutènement qui sont à la disposition du mineur, soit pour les travaux courants que comporte l'exploitation des mines, soit pour divers cas spéciaux que l'ingénieur peut rencontrer dans sa pratique.

Nous avons fait connaître les principales données élémentaires à l'aide desquelles, en supposant qu'on ne soit pas dans des conditions exceptionnelles, l'ingénieur pourra apprécier, avec plus ou moins de précision, ce que coûtera, en temps et en argent, un ouvrage déterminé.

Ces conditions exceptionnelles peuvent être : soit la nature excessivement éboulcuse du terrain, soit la grande affluence des eaux.

Dans le premier cas, c'est surtout sur le temps d'exécution que peuvent porter les mécomptes.

Dans le second cas, l'affluence des eaux peut être telle qu'on soit jeté dans des dépenses d'épuisement considérables, équivalentes à une *impossibilité financière*. Il peut même y avoir *impossibilité matérielle*, par exemple dans l'exécution d'un puits de mine, s'il arrivait que toute la partie de la colonne du puits qui peut être réservée à l'épuisement fût encombrée de pompes ne suffisant pas encore à battre les eaux.

Le cas s'est présenté plus d'une fois dans le bassin houiller du

Digitized by Google

nord de la France, à la traversée des morts terrains qui recouvrent la formation houillère.

(**224**) Les deux circonstances indiquées, la nature très-ébouleuse des terrains et la grande affluence des eaux, peuvent quelquefois exister l'une sans l'autre : ainsi l'on peut avoir à traverser des sables très-coulants, mais peu ou point aquifères. On peut, au contraire, rencontrer des roches qui soient très-fendillées et très-imprégnées d'eau, sans être difficiles à soutenir. On conçoit que ces deux circonstances soient souvent réunies, un terrain très-désagrégé pouvant être souvent, par cela même, assez perméable aux eaux.

Cette réunion accroît beaucoup les difficultés. Comme il faut, en effet, pour l'exécution du travail, que le chantier soit accessible aux ouvriers, les eaux doivent ou s'écouler librement, ou être épuisées. D'une manière ou d'une autre, elles tendent à entraîner le terrain avec elles ; de sorte que la difficulté est moins d'excaver le terrain que de le retenir pour empêcher la création de vides anormaux, et par suite, les mouvements désordonnés et les pressions intenses et inégalement réparties que ces vides peuvent produire, et auxquelles il n'est pas toujours facile ni même possible de résister.

La traversée des terrains aquifères est une question qui intéresse beaucoup l'ingénieur des mines. Il arrive souvent, en effet, que de semblables terrains recouvrent des gisements importants et doivent être traversés pour arriver à ces gisements. Nous avons cité l'exemple des départements du Nord et du Pas-de-Calais ; on peut citer celui de l'ancien département de la Moselle, aux environs de Saint-Avold. Des difficultés, non moins considérables, se présentent dans le nord-ouest du bassin de Mons, dans le bassin de la Ruhr, etc., etc., et l'on peut croire qu'à mesure que les besoins de l'industrie conduiront à rechercher de plus en plus les bassins houillers qui n'affleurent pas, la question acquerra une importance croissante.

Pendant longtemps la solution de cette question a été uniquement demandée à l'emploi du moyen connu sous le nom de cuvelage, mais, depuis un certain nombre d'années, ce moyen, tel qu'on l'employait, a été reconnu ou insuffisant, ou trop dispendieux dans des circonstances données. On tend aujourd'hui à lui substituer de

Digitized by Google

nouveaux procédés qui semblent pouvoir être appliqués dans tous les cas, et qui constituent ainsi un progrès fort intéressant de l'art des mines.

Nous parlerons d'abord du cuvelage ordinaire; nous ferons ressortir les points faibles ou insuffisants du procédé, et nous indiquerons ce qui a été fait, ou proposé, pour remédier à ces inconvénients.

### § 1. — Du cuvelage ordinaire.

(**225**) Le cuvelage, pratiqué depuis longtemps dans le bassin de Mons, a été introduit au dernier siècle dans le département du Nord, lors de la création des mines d'Anzin et d'Aniche; puis il s'est étendu progressivement vers l'Ouest, à mesure que s'ouvraient de nouvelles exploitations, dans le Nord d'abord, puis dans le Pas-de-Calais.

On sait que le terrain houiller est recouvert, partiellement aux environs de Mons, entièrement dans le Nord et le Pas-de-Calais, par des terrains modernes, dits *morts terrains*, qui appartiennent au terrain crétacé.

Des assises de craie voisines du jour sont extrêmement fissurées et très-perméables aux eaux; de sorte que dès qu'un puits de mine en fonçage, ou *une avaleresse*, atteint le niveau des puits domestiques du voisinage, ou tout au plus le niveau des vallées fort peu profondes qui sillonnent la contrée, cette avaleresse exerce sur le terrain une sorte de drainage qui assèche tous ces puits, dans un rayon étendu qui est parfois d'un kilomètre et plus.

L'affluence d'eau est considérable, tant qu'on est dans la craie proprement dite, ou dans ce qu'on appelle *les niveaux*.

Grâce au nombreuses fissures qui divisent la roche, le réservoir qui fournit l'eau est, en quelque sorte, indéfini, et ce qui en limite la quantité, c'est la capacité de débit que présente l'ensemble des petits canaux souterrains, qui viennent déboucher sur les parois ouvertes du puits.

Ce même terrain crétacé présente fort heureusement, à sa base,

Digitized by Google

des assises marneuses connues sous le nom de *dièves*, qui sont imperméables aux eaux, et en même temps assez puissantes et assez plastiques pour pouvoir suivre, sans se fissurer, les petits mouvements d'affaissement qu'amènent les exploitations inférieures.

Le procédé de cuvelage, appliqué pour traverser ces terrains, consiste à garnir les parois du puits d'un revêtement étanche, qu'on pose par reprises, à mesure que l'on descend, pour réduire l'étendue des parois par lesquelles l'eau est débitée dans le puits, et, par cela même, diminuer l'affluence des eaux pendant le fonçage.

Ces diverses reprises sont conduites jusque dans les assises imperméables, et les eaux sont alors complétement et définitivement retenues.

Le cuvelage sert ainsi, *pendant son exécution*, pour diminuer l'affluence des eaux dans l'avaleresse ; il sert, *après son exécution*, pour empêcher ces mêmes eaux de pénétrer dans les travaux d'exploitation inférieure.

*Sans ce procédé*, les avaleresses ne pourraient pas, ordinairement, franchir les niveaux, et *sans la présence des dièves*, les ruptures produites dans les terrains supérieurs, par les travaux souterrains, y amèneraient les eaux abondantes des niveaux, et rendraient bientôt toute exploitation impossible.

(**226**) Le procédé ordinairement suivi s'applique de la manière suivante :

Je suppose qu'on vienne de terminer une reprise qui est venue rejoindre une reprise supérieure. Les eaux venant des parois sont retenues, et il n'en vient plus que du fond. Ce fond est un simple puisard circulaire inscrit à l'intérieur du cuvelage.

On recommence à creuser, en s'élargissant peu à peu, de manière à soutenir la base du cuvelage par une sorte de corniche. A mesure que l'on descend l'affluence des eaux augmente, et elle doit être enlevée par des appareils d'épuisement d'une puissance convenable, souvent de 200 chevaux et plus.

Dès qu'on est arrivé à une assise qui semble être assez solide et présenter quelque chance de retenir une partie des niveaux supérieurs, on arrête le fonçage ; on se borne à faire dans l'axe de l'a-

Digitized by Google

valeresse un petit puisard de 1 mètre à 1$^{m}$,30 de profondeur, et l'on prépare au pic, avec le plus grand soin, une banquette horizontale qui servira de base à la nouvelle reprise.

Sur cette banquette, on posera d'abord une *trousse colletée*, cadre polygonal, en bois de chêne équarri, dont les pièces sont réunies par simple juxtaposition ; ces pièces sont serrées contre le terrain par une série de coins qui les maintiennent dans une position invariable, exactement à l'aplomb des côtés de la reprise supérieure. On forme ainsi une base bien horizontale sur laquelle on vient poser la pièce fondamentale de la reprise, la *trousse picotée*.

La trousse picotée est formée de pièces de bois de chêne de premier choix, assemblées par un travail de menuiserie soigné, vérifiées sur un gabarit, et repérées au jour pour être placées dans le même ordre au fond du puits. Elles laissent à l'extérieur, entre elles et le rocher, un espace vide de quelques centimètres, qu'il s'agit de bourrer de manière à former un joint imperméable.

A cet effet, on applique sur la face externe de chaque pièce une planchette en bois blanc, dite lambourde, ayant la hauteur de la pièce et 20 à 25 millimètres d'épaisseur, et derrière ces lambourdes, on bourre fortement de la mousse. Ensuite, on complète ce bourrage en enfonçant, entre les côtés du cadre et les lambourdes, d'abord deux séries de coins plats en bois blanc, les uns la tête en bas, les autres dans la position inverse, de manière à repousser les lambourdes parallèlement à elles-mêmes, et à comprimer ainsi la mousse contre le terrain. Aux coins plats succèdent les coins à tête carrée, ou picots, que l'on enfonce partout où l'on aperçoit le moindre vide ; ensuite, pour en enfoncer d'autres, on fait leur place avec une aiguille en fer dite agrappe à picoter, que l'on chasse à grands coups de masse ; quand les picots de bois blanc n'entrent plus, on emploie les picots en chêne, et l'on ne s'arrête que lorsque toute la masse, entre la lambourde et la pièce, est tellement serrée que l'agrappe à picoter elle-même rebondit sur la surface sans y pénétrer.

Ce travail a tellement tassé la mousse, qu'elle s'est moulée sur la surface inégale du terrain et introduite dans les moindres fissures. Elle n'est plus apparente.

On recèpe tous les picots dont les têtes dépassent la face supé-

Digitized by Google

rieure du cadre. Si les pièces de la trousse ont pris un peu de devers sous la pression des picots, on rabote cette face supérieure pour la rétablir bien horizontale.

Sur cette première assise on en pose, s'il y a lieu, une seconde semblable, parfois une troisième et même une quatrième, selon que le terrain paraît le demander pour obtenir une imperméabilité suffisante.

Au-dessus de ces trousses picotées se pose le cuvelage courant, qui se compose d'une série de cadres jointifs, assemblés avec la même précision que les trousses, mais d'une moindre épaisseur, puisqu'ils n'ont pas à résister à la pression du picotage. Derrière ces pièces, et à mesure qu'elles s'élèvent, on remblaye simplement avec de la pierraille, ou mieux avec un béton convenablement hydraulique.

Arrivé au voisinage de la reprise précédente, on fait tomber la corniche avec précaution, et on élève de nouveaux cadres jusqu'à ce qu'il n'en reste plus qu'un à poser pour former le raccord. On serre les joints de la reprise en voie d'exécution, au moyen d'un système de vis de serrage s'appuyant sous la trousse colletée; on mesure alors avec précision l'intervalle à remplir, et l'on donne aux pièces du dernier cadre une hauteur telle qu'ils entrent sans jeu sensible. On met ces pièces en place comme à l'ordinaire, en les étançonnant au besoin pour les maintenir contre la poussée de l'eau, et l'on pose la dernière pièce, qui doit fermer le polygone, en l'introduisant obliquement et la ramenant en avant à l'aide de deux tire-fonds.

Il reste à calfater les joints, tant horizontaux que verticaux, ce qui se fait à l'aide d'un ciseau qui ouvre les joints sur 25 à 30 millimètres de profondeur ; on y introduit de l'étoupe goudronnée qu'on bourre avec soin. On fait ce travail de calfatage, ou de *brondissage*, d'abord sommairement de haut en bas, et ensuite, pour repasser les joints, de bas en haut.

Ce travail fait, on recommence à foncer, en élargissant le puisard à mesure que l'on descend, et on repasse par la même série d'opérations dès qu'on est arrivé à une assise permettant l'établissement d'un nouveau système de trousses picotées.

Digitized by Google

La figure 194 représente, en plan et en coupe, les dispositions générales ci-dessus décrites.

En A se trouve représenté, sur une échelle plus grande, le détail d'une trousse picotée.

(**227**) Ces dispositions constituent le travail courant ordinaire. Ce travail du reste comporte quelques variantes :

1° Souvent on pourra supprimer la trousse colletée, et poser directement sur le terrain la trousse picotée, ou le système des trousses picotées de la nouvelle reprise.

2° J'ai supposé que toutes les pièces d'une même assise avaient la même hauteur.

Quelquefois, au contraire, on s'attache à les faire de hauteurs différentes, en donnant pour raisons que l'on fait moins de déchet au débit des bois, et que, lorsqu'une pièce vient à éclater, elle n'entraîne pas la chute des autres pièces de l'assise, qui peuvent être retenues chacune par la pièce correspondante de l'assise supérieure ou inférieure.

Je crois ces raisons insuffisantes pour motiver cette pratique, que je trouve essentiellement mauvaise. Elle ne permet pas aux diverses pièces d'un même cadre de se déplacer librement, pour venir s'appuyer exactement les unes contre les autres par toute l'étendue de leurs faces obliques ; une même face, en contact avec celles de deux pièces superposées, amène des inégalités dans la répartition des pressions, et, par conséquent, des surcharges sur les points les plus pressés.

3° Certains praticiens établissent ce qu'ils appellent le *renvoi des niveaux*, au moyen de divers artifices dont le but est toujours de ménager, à travers les trousses picotées d'une reprise, la communication avec la reprise inférieure.

Ils cherchent à expliquer l'utilité de ce renvoi par divers raisonnements qui ne reposent, à mon avis, sur aucune notion saine et précise d'hydrostatique.

Je regarde ce renvoi des niveaux comme parfaitement inutile.

4° Pour assurer le maintien du calfatage et l'imperméabilité des joints, on cloue quelquefois sur tous les joints, tant horizontaux que

Digitized by Google

verticaux, de légères tringles de bois dont l'objet est d'empêcher les étoupes du brondissage d'être expulsées par la pression de l'eau.

Cette pratique peut avoir des avantages.

5° On a proposé également de clouer à la face externe de chaque pièce, vers le bas, un couvre-joint formé d'une bande de toile imperméable ou de caoutchouc qui empêche la pression de l'eau sur les étoupes ou même peut rendre celles-ci inutiles.

Cette disposition semble pouvoir être assez efficace.

6° Enfin, on a quelquefois réuni les cadres les uns aux autres au moyen de broches et de trous se correspondant sur les faces contiguës de deux pièces superposées; l'objet de cette disposition est d'assurer sans tâtonnement la position exacte des pièces à l'aplomb les unes des autres.

Cette disposition est vicieuse en principe; les cadres superposés doivent être indépendants les uns des autres, afin que les pièces qui composent chacun d'eux puissent se comporter sous la pression de l'eau comme les voussoirs d'une voûte indépendante.

Il faut, en définitive, qu'il s'établisse dans les joints verticaux de deux cadres superposés la même pression élémentaire, et cela peut demander un petit déplacement relatif des pièces superposées, selon que ces pièces sont plus ou moins flexibles, ou bien ont eu leurs joints plus ou moins serrés au moment de la pose.

Il n'y a donc que de l'inconvénient à rendre ces pièces solidaires.

(**228**) Le cuvelage exige des pièces de bois de chêne de première qualité et sans défaut, qu'il n'est pas toujours facile de se procurer.

Les premiers cuvelages, pour des puits à petite section, étaient carrés.

On les fait ordinairement polygonaux, à 8, 10, 12 côtés et plus. Ce nombre de côtés est d'autant plus grand que le puits a un plus grand diamètre et que le cuvelage doit descendre plus bas, afin de ne pas augmenter la difficulté de trouver les bois convenables en s'imposant l'emploi de pièces trop longues.

La longueur d'un mètre ne doit pas être dépassée.

Digitized by Google

Les pièces doivent être préparées à l'avance sur un gabarit soigné et numérotées par assise et par pièce, de manière à assurer la précision dans la pose.

Les pièces, taillées et repérées avec soin sur le gabarit, doivent être conservées jusqu'à l'emploi, à l'abri du soleil, dans un endroit frais et humide, pour éviter une dessiccation qui les gauchirait ou les ferait fendre.

L'épaisseur des pièces de cuvelage peut être calculée théoriquement (voir le Cours de mécanique), et les formules montrent que cette épaisseur augmente avec le rayon du puits et avec la charge d'eau à laquelle elles sont soumises.

Au voisinage du jour on peut donner une épaisseur constante d'environ $0^m,10$. Puis, à mesure que la pression hydrostatique intervient dans le calcul de cette épaisseur, on augmente successivement par centimètre jusqu'à 20 ou 25 centimètres, limite fort difficile à dépasser en pratique.

C'est ainsi qu'avec les grands puits de 4 mètres et plus que l'on construit aujourd'hui, et avec les grandes hauteurs de morts terrains qu'on a abordées et qui ont été jusqu'à 160 mètres, on reconnaît qu'il est extrêmement difficile, presque impossible, de trouver, pour la partie inférieure de la colonne du puits, des bois parfaitement sains, d'un équarrissage suffisant.

Cette difficulté, qui se traduit par une cherté considérable, et d'autre part le bas prix relatif de la fonte en Angleterre, ont conduit les Anglais d'abord (et depuis lors cette pratique s'est répandue sur quelques points du continent) à remplacer les cuvelages en bois par les cuvelages en fonte.

(**229**) Ces cuvelages métalliques peuvent être montés sur le même système de trousse colletée et de trousses picotées que les cuvelages en bois.

Mais les trousses picotées peuvent elles-mêmes être en fonte. Elles sont alors composées de pièces formant, par leur juxtaposition, à l'extérieur un contour polygonal et à l'intérieur un cercle ayant le diamètre du puits. Ces pièces sont creuses et ouvertes du côté de l'extérieur.

Digitized by Google

La cavité est fourrée avec des pièces de bois, qui la remplissent exactement et débordent d'une petite quantité.

C'est sur ces pièces que portent les lambourdes qui servent à refouler la mousse du garnissage, au moyen du système de coins et de picots décrit ci-dessus.

Sur les trousses picotées se place le cuvelage courant, dont chaque assise est formée d'un certain nombre de segments de $0^m,60$ de hauteur, ayant de 15 à 40 millimètres d'épaisseur, selon la pression de l'eau. Chaque pièce est munie de rebords sur tout son pourtour, et en outre de deux nervures diagonales qui servent à renforcer la fonte, et qui, à leur point d'intersection, présentent un trou rond de 3 centimètres. Ce trou reçoit un boulon qui sert à descendre ces pièces et à les amener en place.

La pose d'une pièce faite, on détache le boulon et on le remplace par une broche en bois chassée avec force.

Les rebords, d'environ 10 centimètres de largeur, ne sont pas directement en contact; on forme les joints, tant verticaux qu'horizontaux, en interposant des planchettes, ou lambourdes, en sapin de 4 centimètres d'épaisseur, que le poids des trousses supérieures ou la poussée de l'eau mettent en serrage.

L'étanchéité est obtenue par un *picotage à faces*, consistant à enfoncer, sur toute l'étendue du joint, des cours de coins plats de 10 centimètres de largeur sur 10 à 12 millimètres d'épaisseur à la tête, puis des picots de même épaisseur, qui servent à serrer les coins latéralement.

Quelquefois, pour éviter que l'enfoncement de ces coins ne fasse sortir les planchettes à l'extérieur, l'un des deux rebords présente un bourrelet saillant qui ferme le joint.

On élève ainsi la reprise jusqu'à la trousse de la reprise précédente, en se raccordant avec quelques assises d'une moindre hauteur, ou avec quelques cadres de cuvelage en bois.

Les rebords sont le plus souvent à l'extérieur, et le puits présente alors à l'intérieur une surface cylindrique continue.

Les cloisonnages, qui doivent effectuer la division du puits en compartiments, peuvent alors être appuyés sur un cordon saillant venu de fonte sur chaque pièce, ou bien sur les abouts, convena-

Digitized by Google

blement entaillés, de forts madriers cloués solidement sur l'épaisseur des joints.

Mais on pourrait très-bien mettre les rebords à l'intérieur. Cette disposition rend le garnissage en béton plus commode à bien bourrer, et donne des facilités pour supporter le boisage des compartiments, les sommiers des pompes, etc.

La figure 195 représente une de ces pièces de cuvelage en fonte, avec les rebords placés extérieurement, suivant le système le plus usité.

(**230**) On a fait aussi des cuvelages en maçonnerie, en Angleterre, à Liége et particulièrement dans le bassin de la Ruhr.

La base d'un tel cuvelage n'est pas ordinairement une trousse picotée, à cause du peu de liaison qui s'établirait entre le bois et la maçonnerie superposée.

On se borne souvent à donner à la maçonnerie un large empattement, en entaillant circulairement le terrain sur une profondeur convenable, et l'on assure la solidité de la banquette sur laquelle repose cette maçonnerie, en l'entaillant suivant une surface légèrement conique, qui reporte la pression dans la masse du terrain. En dessous de cette banquette, le puits doit être boisé ou muraillé avec le plus grand soin, pour empêcher tout mouvement.

Ce système, représenté figure 196, est usité, dans le bassin de la Ruhr, pour des puits à grande section, qui sont muraillés dans les morts terrains et boisés dans les terrains houillers.

On a fait aussi, pour recevoir des cuvelages en maçonnerie, de véritables trousses picotées, dans lesquelles les pièces de bois ont été remplacées par des pierres convenablement taillées.

Enfin, la maçonnerie courante de cuvelage a été faite quelquefois en gros moellons, taillés avec précision, et dont les joints, au lieu d'être garnis de mortier, l'ont été par des feuilles de plomb de quelques millimètres d'épaisseur.

Mais, le plus souvent, on emploie une maçonnerie de briques bien cuites, faite avec un bon mortier hydraulique. On donnera à cette maçonnerie trois briques d'épaisseur, et quelquefois, au lieu de croiser les joints sur cette épaisseur, on jugera préférable de com-

Digitized by Google

poser le muraillement de trois *rouleaux distincts*, chacun d'eux ayant dans les joints aussi peu de mortier que possible, et les trois rouleaux étant séparés par une chape continue de mortier hydraulique d'un à deux centimètres d'épaisseur.

Les maçonneries doivent être posées d'une manière continue pour bien lier les assises, et en prenant les dispositions propres à laisser couler les eaux librement, jusqu'au moment de la prise complète du mortier. Cet écoulement se fait par un ou plusieurs petits tuyaux, noyés dans la maçonnerie à la base, trous qu'on ferme au moment opportun par des robinets ou par des broches en bois.

Les reprises sont difficiles à bien faire avec un cuvelage en maçonnerie, et l'on tâchera, autant que possible, de l'exécuter en une fois, en descendant immédiatement à la profondeur à laquelle on pourra en établir la base.

(**231**) Les trois modes de cuvelage décrits ci-dessus (en bois, en fonte et en maçonnerie) ne doivent pas être employés indifféremment, et il importe de bien préciser quels peuvent être leurs avantages respectifs.

Si on les considère au point de vue de leur dépense de première installation, on peut regarder que les cuvelages en maçonnerie sont les plus économiques, et les cuvelages en fonte les plus dispendieux.

Mais c'est là le plus petit côté de la question.

Les uns et les autres, *bien exécutés*, peuvent être, au début, assez efficaces, quoique la maçonnerie ne présente peut-être pas une étanchéité aussi absolue que les deux autres procédés. Mais il faut prévoir que, sous des pressions inégalement réparties, ou avec les petits mouvements qu'il est bien difficile d'éviter d'une manière absolue dans la colonne du puits, lorsque l'exploitation souterraine se développe, les cuvelages ne resteront pas parfaitement imperméables.

Avec une matière élastique comme le bois, qui pourra se prêter à de petites flexions de la colonne du puits, la réparation se fera simplement en recalfatant les joints, ou à l'aide de quelques petits picotages à faces.

Avec une matière rigide comme la fonte, malgré la petite élasti-

Digitized by Google

cité que peuvent lui donner les joints, les mouvements produiront des ruptures locales assez difficiles, mais non impossibles à réparer, à l'aide de pièces rapportées fixées par des boulons taraudés.

Avec une matière complétement rigide comme la maçonnerie, il se produira des fissures étendues, d'une réparation difficile, toujours imparfaite, et souvent même impossible sous de fortes charges.

Ainsi, au point de vue de la facilité de l'entretien et des réparations, le cuvelage en bois est supérieur aux deux autres, et surtout au cuvelage en maçonnerie.

Enfin, si l'on considère la facilité d'exécution, on doit tenir compte et de la quantité des eaux affluentes et de la charge à laquelle le cuvelage doit résister.

Des eaux extrêmement abondantes rendent le muraillement *pénible et souvent imparfait*, parce que le mortier des maçonneries tend à être délavé et entraîné au fur et à mesure qu'on essaye de garnir les joints.

Des charges extrêmement considérables peuvent rendre le cuvelage en bois *impossible*, faute de pouvoir se procurer des pièces d'un équarrissage suffisant. Au contraire, on peut donner à la fonte et à la maçonnerie l'épaisseur que l'on veut.

Il me semble ressortir de cette discussion qu'on devra préférer le cuvelage en bois, toutes les fois qu'on pourra se procurer les pièces d'une qualité et d'un équarrissage convenables, et qu'à défaut du cuvelage en bois, lorsque le grand diamètre du puits et la pression de l'eau rendront ce système inapplicable, on devra recourir au cuvelage en fonte. Cette conclusion rationnelle est conforme à la pratique qui semble prévaloir en ce moment.

(**232**) Nous avons supposé, dans ce qui précède, un cuvelage complet, c'est-à-dire ayant pour base un terrain imperméable, et s'élevant jusqu'au-dessus du niveau auquel se tiendraient les eaux dans le puits, si on le laissait se remplir.

C'est le plus souvent ainsi qu'on doit agir, et, au-dessus du cuvelage, on élève jusqu'au jour un revêtement quelconque qui peut ne pas être imperméable.

Mais il peut bien arriver que les terrains aquifères ne se présen-

Digitized by Google

tent qu'à une profondeur plus ou moins grande du jour, qu'on rencontre, par exemple, une assise perméable comprise entre des assises imperméables et recevant l'eau par son affleurement, ou bien qu'on recoupe une faille aquifère.

Dans ce cas, on peut se borner, et il y a avantage à le faire, à un cuvelage partiel, n'occupant que la partie aquifère, reposant sur des trousses picotées et se terminant, vers le haut, par d'autres trousses également picotées. Ces dernières sont posées de la même manière que les autres, en considérant le dernier cadre du cuvelage courant comme une trousse colletée, sur laquelle on monte, en suivant le procédé ordinaire, une ou plusieurs trousses picotées. Celles-ci sont surmontées d'un revêtement non étanche qui a le double but de maintenir les parois, et de charger les trousses pour les empêcher de se soulever sous la pression de l'eau. Si les parois du puits étaient solides et n'avaient pas besoin d'être revêtues, les trousses pourraient être chargées au moyen de buttes arc-boutées contre la partie supérieure de l'élargissement qu'on a pratiqué pour leur mise en place et pour leur picotage.

Le cuvelage, complet ou partiel, s'applique le plus habituellement dans les puits de mine verticaux ; mais on comprend qu'on le puisse appliquer également à une galerie à travers bancs, dans laquelle on aurait à traverser une zone aquifère.

Rien, dans le procédé décrit, ne suppose forcément les cadres successifs placés dans un plan horizontal ; ils pourraient être aussi bien dans un plan vertical, ou dans un plan incliné quelconque. Il n'en résulterait qu'un peu plus de sujétion pour les placer régulièrement les uns à la suite des autres.

Rien non plus n'oblige à avoir un contour polygonal régulier, et l'on peut parfaitement appliquer un contour trapézoïdal se rapprochant de la section ordinaire d'une galerie boisée, ou encore, si la pression de l'eau doit être très-forte et les portées des pièces trop grandes, remplacer chacun des côtés du trapèze par deux pièces faisant un certain angle ; de manière à avoir pour section un octogone non régulier, mais symétrique par rapport à un plan vertical passant par l'axe de la galerie.



Digitized by Google

(**233**) Tel est le système que l'on emploie ordinairement, lorsque des ouvrages, tels que puits et galeries, destinés à aller recouper un gîte, ont à traverser des régions aquifères dont les eaux doivent être interceptées et ne pourraient impunément être admises dans les travaux.

La réussite du système suppose d'abord qu'on peut donner au cuvelage une base suffisamment imperméable. Elle suppose, en outre, que les travaux d'exploitation resteront isolés des parties aquifères par des terrains ayant la consistance voulue pour que les mouvements provenant de ces travaux n'y produisent pas de cassures nettes, qui restent ouvertes et donnent un libre accès à ces eaux.

Elle suppose encore que l'on n'a point, pendant le travail, à épuiser des affluences d'eau, en quelque sorte *indéfinies*, comme cela pourrait avoir lieu si les terrains aquifères communiquaient facilement et à petite distance avec un cours d'eau naturel, ou avec le fond d'un lac qu'on ne pourrait songer à épuiser.

Elle suppose enfin, que l'on est dans un terrain ayant une consistance suffisante pour qu'on puisse y battre les eaux sans le mettre en mouvement d'une manière notable, et pour y trouver un point d'appui, au moins provisoire, pour établir la base du cuvelage.

Si ces diverses hypothèses ne sont pas toutes satisfaites, le cuvelage peut être inefficace *dès l'origine*, ou le devenir *après un temps plus ou moins long d'exploitation;* ou bien son établissement même peut être *extrêmement difficile*, ou même *impossible*. C'est pour ces cas de difficulté extrême, ou d'impossibilité, qu'ont été proposés les systèmes nouveaux dont nous avons maintenant à parler.

### § 2. — Procédés nouveaux remplaçant le cuvelage ordinaire.

(**234**) Nous supposons, d'après ce qui vient d'être dit en dernier lieu, le terrain *tellement aquifère* qu'on ne peut, ou qu'on ne veut songer à épuiser les eaux, ou bien *tellement coulant* que cet épuisement, s'il était possible au point de vue de la quantité d'eau à extraire, ne le serait pas à cause de la nature du terrain, parce qu'il

Digitized by Google

produirait, en quelque sorte, en même temps *l'épuisement du terrain* lui-même; ou enfin, nous supposons les deux circonstances réunies.

Les divers procédés proposés ou employés pour surmonter ces difficultés, ensemble ou séparément, peuvent se résumer comme suit :

1° Si les terrains aquifères et plus ou moins coulants sont voisins du jour, on maintient dans la colonne du puits, supposé déjà descendu d'une certaine quantité au-dessous du niveau des eaux et pourvu jusqu'au fond d'un revêtement suffisamment étanche, une certaine pression d'air, supérieure à la pression atmosphérique d'une quantité égale à la pression due à la charge de l'eau sur le fond du puits. De cette manière on tient les eaux basses dans le puits. On n'a pas à les épuiser ; on ne tend pas, par suite, à déplacer par entraînement la masse du terrain ; il se tient autour et au fond du puits, exactement dans les mêmes conditions de stabilité que si l'on était *à niveau plein*, c'est-à-dire que si les eaux étaient *dans le puits même* à la hauteur à laquelle elles se tiennent *autour du puits*,

Les ouvriers s'introduisent dans la colonne d'air ainsi comprimé, et vont faire à la base le travail nécessaire pour continuer le fonçage et le revêtement de la colonne du puits.

On n'est limité, dans ce mode de travail, que par la pression maxima à laquelle on peut exposer les hommes sans préjudice trop grand pour leur santé.

Ce système, qui revient, en principe, en tant qu'il s'agit du travail des hommes au fond du puits, à l'emploi d'une cloche à plongeur, a été imaginé par M. Triger, qui en a fait la première application à un puits foncé au milieu de la Loire, dans une île formée par les alluvions de ce fleuve. La traversée de ces alluvions a eu lieu sur une vingtaine de mètres, sans avoir à faire aucun travail d'épuisement.

Depuis lors, ce même système a été appliqué par beaucoup d'ingénieurs, dans les diverses contrées de l'Europe et aux États-Unis, soit à des puits de mine commencés dans des terrains aquifères, soit à des travaux du génie civil, dans lesquels on avait à traverser, non pas seulement des terrains aquifères, mais en quelque sorte

Digitized by Google

l'eau elle-même, comme dans des fondations de piles de pont, de phares et d'autres ouvrages.

On doit le considérer comme pouvant être, au point de vue du génie civil, d'une très-grande fécondité, et permettre des travaux qu'on oserait à peine aborder sans son secours.

Ainsi, par exemple, nous avons dit comment le tunnel sous la Tamise, exécuté par Brunel à force d'habileté et de persévérance, avec une énorme dépense de temps et d'argent, était resté jusqu'ici un travail unique en son genre. Il est certain que l'emploi de l'air comprimé l'eût singulièrement facilité, et peut-être que le meilleur moyen d'aborder aujourd'hui un travail de ce genre serait de l'exécuter par tronçons successifs que l'on raccorderait après coup, chacun de ces tronçons étant exécuté sous l'eau par un procédé analogue à celui qu'on emploierait pour fonder une pile d'une très-grande longueur.

Sans insister sur ce point, qui nous écarte de notre sujet, nous remarquerons que l'analogie déjà signalée du système Triger avec la cloche à plongeur, le rapproche naturellement de tous les appareils par lesquels le dispositif, assez complexe et assez encombrant, de la cloche à plongeur, peut être remplacé. Nous citons ici l'appareil imaginé par MM. Roucayrol et Denayrouze, sur lequel nous aurons à revenir plus tard. Cet appareil, inventé d'abord en vue de pénétrer dans les quartiers de mine infestés de mauvais air, mais dont les inventeurs ont bientôt indiqué et appliqué l'emploi dans un milieu irrespirable quelconque, et par conséquent *sous l'eau* aussi bien que *dans le mauvais air*, permet de faire sous l'eau des travaux continus et importants, et peut-être, par exemple, serait-il le véritable moyen à employer pour raccorder les tronçons successifs dont nous venons de parler.

2° On a imaginé d'appliquer aux puits verticaux un système analogue en principe (quoique fort différent par les détails), au bouclier employé par Brunel pour le tunnel sous la Tamise.

Le système consiste à cuveler le puits, non pas par reprises exécutées de bas en haut, mais en l'allongeant par le bas, par une série de cadres successivement attachés les uns au-dessous des autres.

Digitized by Google

La face inférieure du dernier cadre, comme le bandeau de maçonnerie indiqué au n° 220, sert de point d'appui pour enfoncer dans le terrain, à l'aide d'une série de presses hydrauliques, un véritable bouclier à bords tranchants, que termine par le bas une sorte de gaîne dont la partie supérieure dépasse et entoure les derniers cadres du cuvelage. Un joint étanche ferme l'intervalle entre la gaîne et le cuvelage.

Le fond du puits se trouve ainsi à sec, ou du moins ne reçoit que la petite quantité d'eau pouvant s'infiltrer par les joints tant du cuvelage que du bouclier.

On enfonce celui-ci en faisant jouer les presses, et quand il est descendu d'une quantité suffisante pour placer un nouveau cadre, on met celui-ci en place, en le suspendant par de longues vis à bois au cadre supérieur. Puis on agit de nouveau avec la presse, et ainsi de suite.

Dans l'axe du puits, le bouclier porte un gros tuyau qui se prolonge jusqu'au-dessus des niveaux, et par lequel on descend les outils élargisseurs et cureurs, au moyen desquels on facilite l'enfoncement de ce bouclier. Ce même tuyau sert encore, au besoin, à faciliter cet enfoncement d'une autre manière : une fois que les presses sont en charge, on laisse couler l'eau de ce tuyau dans la colonne même du puits, et l'on réduit ainsi, comme il est facile de le comprendre, la partie de la résistance qui est due à la pression de l'eau, au poids d'une colonne de liquide ayant pour base la section du tuyau central.

On vide cette eau accumulée dans la colonne, lorsqu'il faut redescendre au fond du puits.

Ce système a été imaginé par M. Guibal, professeur à l'École des mines de Mons.

3° Enfin, un système imaginé d'abord par l'habile sondeur M. Kind, et ensuite perfectionné et rendu tout à fait pratique par l'inventeur et par M. Chaudron, consiste à foncer un puits comme un trou de sonde d'un grand diamètre. Ensuite, lorsqu'on est arrivé au terrain pouvant servir de base au cuvelage, on introduit celui-ci, en l'allongeant par le haut à mesure qu'il descend. Ce cuvelage présente, à sa partie inférieure, une disposition particulière

Digitized by Google

qui forme un joint étanche, lorsque la colonne du cuvelage est venue reposer sur sa base.

La descente du cuvelage terminée, il ne reste qu'à vider l'eau qui remplit la colonne du puits, et l'on a ainsi traversé toute la hauteur des niveaux aquifères et posé toute la colonne du cuvelage, en travaillant constamment *à niveau plein*, sans avoir eu, en aucune façon, à se préoccuper de l'eau qu'il aurait fallu épuiser, si l'on avait dû rendre le bas du puits habitable, pour exécuter le travail tant du fonçage que du cuvelage à la manière ordinaire.

Tels sont, sommairement, les divers procédés spéciaux sur chacun desquels nous allons actuellement entrer dans quelques détails.

(**235**) **Procédé Triger.** — Dans la première application du procédé, qui a été faite en 1839, à un puits des mines de Chalonnes (Maine-et-Loire), on a traversé, sur une vingtaine de mètres, les alluvions de la Loire, au moyen d'un tube en tôle de $1^m,33$ de diamètre, enfoncé à coups de mouton. On avait établi, à la partie supérieure, une chambre spéciale, dite *sas à air*, que l'on mettait à volonté, au moyen de 2 trous d'homme, en communication tantôt avec l'atmosphère, tantôt avec l'intérieur du puits. Une machine à comprimer l'air, établie au jour, maintenait dans l'intérieur du puits la pression voulue.

Un jeu de robinets servait à régler l'écoulement de l'air, de l'intérieur du puits dans le sas, ou du sas dans l'atmosphère, de manière à ne pas exposer les hommes à des variations trop brusques de pression, lorsqu'ils avaient à entrer dans le puits ou à en sortir.

Deux treuils étaient établis, l'un au jour, l'autre à l'intérieur du sas, pour élever les déblais en 2 reprises. On les élevait d'abord du fond du puits dans le sas, et quand on en avait accumulé une certaine quantité sur un plancher, on fermait le trou d'homme inférieur, on ouvrait celui du haut, et on les reprenait, pour les amener au jour, à l'aide du treuil extérieur.

La figure 196 montre l'ensemble des dispositions qui avaient été employées par M. Triger au puits de Chalonnes.

Outre les détails ci-dessus indiqués, on doit signaler l'artifice au

Digitized by Google

moyen duquel on peut, dans certains cas, tenir le puits à sec, sans avoir besoin d'augmenter la pression de l'air à l'intérieur du puits de toute la quantité due à la charge du niveau. Le tuyau A sert à écouler l'eau qui afflue par le bas par suite de la moindre pression donnée à l'air. La colonne d'eau ascendante agit comme une sorte de trompe, en aspirant l'air par le robinet B, dont on règle convenablement l'ouverture. L'effet de cette aspiration est de changer la masse d'eau liquide en une sorte d'émulsion d'une densité moindre que l'eau, et pouvant ainsi s'élever jusqu'à l'orifice du puits et se déverser au dehors.

C'est ainsi qu'on a pu descendre facilement à 20 mètres à Chalonnes, et ailleurs jusqu'à 28 mètres, sans être obligé de comprimer l'air à plus de 3 atmosphères de pression totale, limite qui peut être atteinte, mais que l'on ne saurait dépasser sans danger pour la santé des ouvriers.

Un autre artifice, plus ou moins analogue au précédent, consiste à employer le tuyau, non pas à écouler l'eau qui ne trouve pas assez facilement passage à travers le terrain environnant, mais à *écouler*, en quelque sorte, *le terrain lui-même*. Il arrive, en effet, qu'avec des sables bien mobiles, on peut établir dans ce tuyau un courant d'air comprimé qui les entraîne et les amène au jour en même temps que l'eau.

Le procédé a présenté encore d'autres variantes. Ainsi, par exemple, le sas à air étant supposé placé au-dessus du jour, on y a bien établi un treuil pour élever les déblais du fond du puits; mais arrivés dans le sas, ces déblais ont été évacués au jour par un gros tuyau incliné, muni de portes à ses deux extrémités. On fermait la porte extérieure pour remplir le tuyau de déblais, et on les évacue par l'action de leur poids, en ouvrant cette même porte après avoir fermé la porte intérieure.

Ainsi encore, on a supprimé l'emploi des lampes, ou des chandelles, incommodes avec l'air comprimé, en s'éclairant avec des lentilles de verre analogues à celles qui sont en usage sur les vaisseaux. Ces lentilles étaient éclairées le jour par la lumière solaire, la nuit à l'aide de lampes munies de réflecteurs, etc., etc.

En un mot, le système Triger a été manié par un grand nombre

Digitized by Google

d'ingénieurs, français et étrangers, et toujours il s'est montré très-souple et très-approprié à une multitude d'applications.

L'emploi de l'air comprimé mérite donc toute l'attention des ingénieurs, soit sous la forme complexe que lui a donnée son inventeur et qui convient à de grands ouvrages employant un assez grand nombre de bras, soit sous la forme simplifiée qu'il a reçue, en ces derniers temps, de MM. Roucayrol et Denayrouze, et qui semble bien appropriée à un travail individuel.

Revenant à l'application qui nous intéresse, c'est-à-dire au fonçement des puits de mines, nous dirons qu'elle a eu lieu sous diverses formes, avec des appareils différents de ceux de M. Triger, et pour des puits d'un diamètre plus grand que celui de Chalonnes.

En principe, le sas à air a été établi à demeure, au niveau ou légèrement en contre-bas du sol, sans solidarité immédiate avec le revêtement étanche du puits.

Ce revêtement a pu être un cuvelage ordinaire en bois. Comme sous l'action de la pression de l'air intérieur, les joints de ce cuvelage tendaient à s'ouvrir ; on les maintenait en place au moyen de ferrures appliquées dans les angles et fixées par des vis à bois. On empêchait les fuites en garnissant tous les joints avec des bandes de toiles enduites d'argile.

On a pu ainsi franchir les niveaux les plus voisins du sol et les plus aquifères, et après avoir atteint les limites d'application possible du procédé, continuer l'avaleresse par les procédés ordinaires du cuvelage.

D'autres fois les terrains aquifères étant en même temps ébouleux, on a remplacé le cuvelage en bois par un cuvelage en fonte, formé de segments assemblés par des brides intérieures, descendu dans le puits et successivement allongé par la partie supérieure.

La couronne des segments inférieurs est alors munie, par le bas, d'un sabot tranchant pour pénétrer dans le terrain sous l'action de vis de pression ou de presses hydrauliques, agissant sur le collet de la couronne supérieure.

La colonne s'allonge par la superposition de nouveaux segments, à mesure que la trousse coupante pénètre dans le terrain. Elle glisse dans un manchon boulonné à la base du sas à air; on garnit de

Digitized by Google

mousse l'intervalle entre l'extérieur de la colonne et l'intérieur du manchon, de manière à prévenir les fuites d'air.

Ce système a été employé, à Séraing (près de Liége), pour traverser sur une dizaine de mètres de profondeur les alluvions très-aquifères de la Meuse. Une fois arrivé à une profondeur suffisante dans le terrain houiller, on a enlevé le sabot tranchant ; on a mis en place une trousse picotée, et l'on s'est raccordé avec la basse du cuvelage au moyen de quelques cadres ordinaires.

La figure 197, empruntée à l'atlas du supplément de M. Ponson, donne les principaux détails du travail ci-dessus décrit.

(236) **Procédé Guibal.** — Le procédé Guibal n'est pas, comme celui de M. Triger, limité aux terrains aquifères voisins de la surface. Le cas même, pour lequel on l'a proposé et étudié, était la traversée de 20 à 25 mètres de sables mouvants, dont la tête se trouvait à plus de 80 mètres du jour. C'était un cas d'une très-grande difficulté, non-seulement par l'abondance des eaux et la nature très-coulante des terrains, mais encore par la grande profondeur à laquelle ces terrains se rencontraient.

On ne pouvait, en effet, songer à tenir les eaux basses dans le puits, sans voir le terrain entraîné violemment par l'eau, qui aurait afflué au fond du puits sous l'énorme charge de 80 mètres.

Il fallait absolument travailler à *niveau plein*, ou du moins se placer dans les mêmes conditions statiques que si l'on avait travaillé à niveau plein.

C'est à ce résultat que M. Guibal est parvenu, en supprimant tout épuisement, par conséquent en prévenant tout mouvement des eaux, et par suite tout affouillement ou entraînement du terrain.

Le bouclier, ou prisme tranchant, employé par M. Guibal, pouvait découper dans le terrain un octogone régulier circonscrit à un cercle de $3^m,6$ de diamètre. La gaîne dont il était surmonté était elle-même octogonale, circonscrite à un cercle de $3^m,27$. Elle devait être *très-mince*, pour réduire aussi peu que possible les dimensions du cuvelage, et en même temps *assez forte* pour résister à la poussée de l'eau. On l'avait donc formée de pans de bois de $0^m,10$ d'épaisseur, blindés sur les deux faces par des bandes de tôle de 2 centimètres.

Digitized by Google

A la partie supérieure de cette gaîne, le joint étanche était formé par une série de bandes de caoutchouc, que la pression même de l'eau maintenait appliquées contre la surface externe du cuvelage.

Cette garniture, qui peut paraître précaire, était au contraire parfaitement suffisante pour toute la durée du travail, quelque longue qu'on voulût la prévoir ; car les bandes de caoutchouc ne pouvaient s'user que par le frottement, et celui-ci n'avait à s'exercer que sur une longueur totale égale à la hauteur sur laquelle le bouclier était nécessaire, soit sur les 20 à 25 mètres de terrain mouvant.

Le bouclier était poussé en avant par 16 presses hydrauliques, placées 2 à 2 sous les 8 pièces de la dernière assise du cuvelage.

A l'intérieur de la colonne centrale ou colonne d'équilibre, on entaillait le terrain, en *le grattant*, en quelque sorte, sur toute sa surface, tout en lui conservant le talus naturel qu'il prenait, au moyen d'un outil ou trépan dilatable, dont les branches s'ouvraient lorsqu'il était descendu dans l'espace libre existant sous le bouclier.

Ce système, décrit avec beaucoup de détails dans un rapport spécial publié à Mons en 1856, est représenté sur les figures 198 à 200, qui sont une réduction de celles qui étaient jointes au rapport précité.

La figure 198 représente, en plan et en coupe, la colonne du puits, le bouclier avec son joint étanche et la disposition générale des presses hydrauliques; la figure 199 est le détail, sur une plus grande échelle, du joint étanche ci-dessus, et la figure 200 un détail du trépan dilatable, agissant comme un racloir sur le terrain sableux à entamer.

(**237**) Le système de M. Guibal doit être considéré comme très-ingénieusement combiné, bien qu'il n'ait pas réussi dans la seule application qui en ait été tentée jusqu'ici.

On est arrivé à franchir la masse du terrain mouvant, non sans de nombreux incidents, faciles à concevoir dans un travail aussi délicat ; malheureusement la surface de jonction du sable mouvant et du terrain houiller sur lequel il reposait directement était fort inclinée, et tandis qu'un côté du bouclier reposait déjà sur le terrain

Digitized by Google

solide, le côté opposé laissait encore une ouverture pour l'écoulement de l'eau et du terrain.

Malgré cet échec dû à une circonstance spéciale, le système de M. Guibal n'en mérite pas moins d'attirer toute l'attention des ingénieurs.

(**238**) **Procédé Kind et Chaudron.** — Ce procédé, à l'inverse du précédent, compte aujourd'hui de nombreux exemples de réussite, et la tendance actuelle est de l'employer, non-seulement dans les cas exceptionnels où il pourrait être *indispensable*, mais même dans les cas, où, selon les probabilités, d'après les résultats obtenus dans les puits du voisinage, le système ordinaire de cuvelage pourrait être appliqué sans des dépenses excessives de temps et d'argent. En l'appliquant, on se met en garde contre les difficultés éventuelles du système ordinaire ; en outre, on est fondé à espérer habituellement une notable économie d'argent, si on ne veut pas mettre à la charge du travail l'entier amortissement du matériel assez important que demande l'application du procédé.

Le procédé comprend deux parties essentiellement distinctes : le fonçage du puits, et le cuvelage.

(**239**) Le travail du fonçage n'est autre chose que l'exécution d'un sondage à très-grand diamètre. On peut se reporter à ce qui a été dit à ce sujet au chapitre IV.

Néanmoins l'outillage comporte quelques dispositions particulières.

Ainsi le trépan sera nécessairement formé avec un certain nombre de lames rapportées.

On aura même volontiers deux trépans, l'un pour amorcer un trou central, l'autre pour l'élargir. Cette disposition convient surtout dans le cas d'un terrain très-dur, pour obtenir une vitesse donnée d'approfondissement, sans être obligé de donner au trépan un poids excessif.

Le grand trépan pourra avoir ses diverses lames en retraite les unes sur les autres, de manière à faire une excavation conique qui facilite la réunion des débris vers le centre du puits. Ces débris tom-

Digitized by Google

bent ainsi naturellement dans une cloche qu'on place dans le trou central, et qu'on retire pleine de débris à la fin d'un poste de battage sur le grand diamètre.

On emploie d'ailleurs, pour compléter le nettoyage du trou, l'appareil employé déjà par M. Kind dans ses sondages ordinaires, et qu'il désigne sous le nom de dragueur.

La figure 201 représente un trépan pour le grand diamètre, et la figure 202 le dragueur, dans la position où il se trouve quand il est ouvert au fond du puits.

(**240**) D'une manière générale, concevant le fonçage exécuté en employant, selon les besoins, tous les artifices propres à l'art du sondeur, il reste à faire le cuvelage du puits, et c'est ce travail qui caractérise spécialement le système dont il s'agit.

Ce cuvelage est composé d'une série d'anneaux en fonte d'environ $1^m,50$ de hauteur, formés tous d'une seule pièce ayant 25 à 40 millimètres d'épaisseur.

Il se pose en s'allongeant par le haut, comme celui dont il a été parlé à la fin du n° 214; mais il descend sans couper le terrain, et en ayant au contraire un certain jeu.

Chaque anneau est muni, en haut et en bas, de brides, ou rebords, de 10 centimètres de largeur, saillants dans le puits. L'assemblage de deux pièces se fait à l'aide d'une quarantaine de boulons de 2 à 3 centimètres, munis d'écrous.

La fabrication et l'assemblage de ces pièces demandent beaucoup de précautions et de soins; car toute défectuosité tardivement reconnue, quand le cuvelage est en place, est fort difficile à réparer.

Toutes les pièces sont essayées à la presse hydraulique, dans le sens où elles doivent fonctionner, c'est-à-dire pour une pression agissant à l'extérieur. La pression d'épreuve est habituellement d'au moins 15 atmosphères.

Toute pièce défectueuse doit être rejetée.

Les faces des deux brides doivent être planées simultanément sur le tour, de manière à assurer leur parallélisme complet, sans quoi on serait exposé à n'avoir pas une colonne exactement rectiligne.

Le joint est formé en traçant, sur les deux brides qui doivent être

Digitized by Google

en contact, un grain d'orge qui se correspond dans les deux pièces, et forme ainsi une sorte de petit canal, dans lequel on place un gros fil de plomb, qu'on écrase en serrant jusqu'au refus les écrous des boulons. — On pourrait remplacer le plomb par le caoutchouc qui se moulerait, encore plus facilement que le plomb, sur les moindres inégalités de la surface de la fonte ; mais il faut un joint qui ne risque pas de s'altérer avec le temps, et l'on n'est pas encore assez fixé sur la durée du caoutchouc dans les conditions d'emploi dont il s'agit ici.

L'assemblage des diverses pièces forme une sorte de long tube qu'on descend dans la colonne du puits, pour en former le revêtement imperméable.

Il reste à voir comment on rend également la colonne imperméable à la base, et comment on fait la manœuvre de la descente.

Le dispositif employé pour assurer l'imperméabilité de la base, et remplacer ainsi la trousse picotée, a reçu le nom de boîte à mousse. Il est établi de la manière suivante.

Le cuvelage courant se termine, vers le bas, par une bride tournée extérieurement. Une couronne mobile d'un diamètre *extérieur* un peu moindre que le diamètre *intérieur* du cuvelage, porte, à sa partie inférieure, une bride qui est également tournée en dehors, et qui ainsi fait face à celle du cuvelage. L'intervalle entre les deux brides est garni de mousse bien nettoyée de terre, convenablement tassée, et maintenue en place par un filet.

Lorsque le cuvelage arrive au bas du puits, la couronne mobile est d'abord arrêtée sur le terrain ; le cuvelage continue de descendre par son poids, les deux brides se rapprochent, compriment fortement la mousse, et la refoulent en même temps contre le terrain. Ce refoulement se produit grâce à une certaine conicité qu'on a donnée à la surface des brides. Ce dernier artifice est emprunté à la construction ordinaire des boîtes à étoupe, sauf que cette surface des brides est ici convexe pour repousser la mousse contre le terrain, tandis qu'elle est concave dans les boîtes à étoupe ordinaires, pour appuyer la garniture contre la tige mobile qui les traverse.

La boîte à mousse forme un excellent joint, à cause de l'énorme

Digitized by Google

pression qui résulte du poids du cuvelage. Cette pression croît avec la hauteur de la colonne, comme la charge d'eau à laquelle cette pression doit faire obstacle.

(**241**) Si nous supposons une épaisseur moyenne de 30 millimètres à la fonte du cuvelage, un puits de $3^m,50$ de diamètre, et un cuvelage de 150 mètres de hauteur seulement, on peut voir, même en ne tenant pas compte de l'excédent de poids dû aux rebords, que ce cuvelage ne pèsera pas moins de 340,000 kil.

Cet énorme poids, s'il assure l'efficacité de la boîte à mousse, demande des dispositions spéciales pour être manœuvré.

En mettant un fond hermétiquement fermé à la base de la colonne du cuvelage, cette colonne déplacerait un poids d'eau rapidement croissant, et deviendrait bientôt un *corps flottant*, sur lequel il faudrait exercer *une pression* pour le faire descendre et non une *traction* pour le retenir.

En ajoutant à ce fond un tuyau central, ouvert par les deux bouts, que l'on allonge successivement par le haut et qui est muni de robinets de distance en distance, on peut, à l'aide de ces robinets, charger ce corps flottant d'une certaine hauteur d'eau, qui vient occuper l'espace annulaire compris entre la colonne de cuvelage et le tuyau central, ou tuyau d'équilibre.

Au moyen de ce dispositif, dont l'ensemble est représenté figure 303, et en ayant soin de fermer chaque robinet avant qu'il ne soit recouvert d'eau, on est maître de donner au système *un poids dans l'eau* qui soit toujours à peu près constant, soit 25 à 30,000 kil. par exemple. Ce poids est nécessaire pour donner de la stabilité au système, et le maintenir plus facilement dans l'axe du puits.

Ce poids, et celui même des pièces de cuvelage que l'on a à manœuvrer pour allonger la colonne, demandent des dispositions essentiellement différentes par l'importance, de celles qu'on emploie pour le tubage des puits artésiens ordinaires.

La suspension se fait à l'aide d'une demi-douzaine de tirants passés dans les trous d'une des brides et auxquels on ajoute successivement des rallonges. Ces tirants portent, à la partie supérieure, un pas de vis muni d'un gros écrou formant pignon, que l'on ma-

Digitized by Google

nœuvre à l'aide d'un mouvement de vis sans fin et de manivelles.

Quand il s'agit de placer un nouvel anneau, on soutient les tirants par des clefs de retenue, on ôte un système de rallonges pour pouvoir glisser cet anneau dans l'intervalle, puis on remet les rallonges.

La figure 203, déjà citée, indique suffisamment la disposition générale du système.

(**242**) Derrière le cuvelage on doit garnir d'un bétonnage en mortier bien hydraulique. On ne peut, comme dans le travail ordinaire, le poser à la main à mesure qu'on élève le cuvelage. On ne peut non plus le verser à la partie supérieure; car, quelque soin qu'on prît pour le gâcher serré, il se délayerait en tombant, et il n'arriverait au fond que des cailloux. Il faut donc le descendre à l'aide de caisses fermées, qu'on ouvre seulement, par un artifice facile à imaginer, quand elles arrivent au fond. Ce travail de bétonnage doit se faire vivement, sans aucune interruption, pour obtenir une masse homogène et bien liée.

Il ne faut pas regarder ce bétonnage comme destiné à assurer l'imperméabilité des joints du cuvelage, qui doivent être déjà étanches par eux-mêmes. Mais il empêche les différents niveaux d'eau d'être en relation trop facile les uns avec les autres, et il diminuerait beaucoup l'affluence des eaux, si la boîte à mousse n'était pas parfaitement étanche, ou s'il survenait quelque rupture accidentelle d'une pièce du cuvelage.

A ce point de vue, on pourrait dire qu'on agit ici en sens contraire de ce qu'on fait en établissant le *renvoi des niveaux*, dont j'ai déjà signalé, au n° 206, tout au moins l'inutilité.

Une fois le cuvelage en place, la boîte à mousse fonctionnant et le bétonnage exécuté, on attend quelques jours pour que ce dernier ait bien fait prise. On épuise alors l'eau contenue entre le cuvelage et le tuyau d'équilibre. On démonte ce dernier par portions, à mesure que l'eau baisse, par suite de l'ouverture successive des divers robinets; on démonte enfin le fond lui-même. Tout est ainsi disposé pour reprendre le fonçage et le continuer à la main.

Digitized by Google

(**243**) Tel est le système, très-ingénieux et très-pratique, qu'emploie aujourd'hui M. Chaudron, dans de nombreux fonçages en cours d'exécution sur diverses mines du Nord, du Pas-de-Calais, de la Belgique et du bassin de la Ruhr.

Ce procédé semble réussir parfaitement dans tous les terrains où un sondage peut se faire facilement, c'est-à-dire dans les terrains convenablement consistants ; il est d'ailleurs entièrement indépendant de la quantité d'eau que ces terrains fourniraient, si l'on fonçait en tenant les eaux basses.

Il sera évidemment d'une application moins facile, avec des terrains ébouleux qui ne pourraient être traversés par un trou de sonde sans être tubés, et l'on devra sans doute, pour ces passages, employer un tubage provisoire ; mais, ainsi qu'on l'a déjà remarqué, la nature très-ébouleuse, ou même coulante, des terrains, qui cause tant de difficultés lorsqu'on travaille avec les eaux basses dans le puits, est beaucoup moins à craindre lorsqu'on opère toujours à niveau plein ; car alors les eaux restent stagnantes et ne tendent pas à mettre les terrains en mouvement.

On peut donc penser qu'on arrivera encore, avec le procédé Kind et Chaudron, à traverser, avec une facilité relative, des terrains coulants qu'on rencontrerait en profondeur, en les maintenant par une colonne perdue en tôle, sauf à sacrifier quelque chose sur le diamètre du cuvelage ou sur l'épaisseur de bétonnage.

(**244**) **Comparaison entre les trois procédés précédemment décrits.** — Les trois procédés décrits ci-dessus (n$^{os}$ 234 à 243) ont un trait commun caractéristique, celui de s'*exécuter à niveau plein*, ou du moins dans *les mêmes conditions que si l'on travaillait à niveau plein*, et, par conséquent, d'être indépendants de la quantité d'eau qu'on aurait à épuiser en employant le procédé ordinaire, et d'éviter ainsi, à la fois, et la dépense de l'épuisement et les difficultés qu'entraîne cet épuisement avec des terrains coulants.

Mais ils présentent, d'autre part, des différences essentielles.

Le procédé Triger se borne aux terrains aquifères superficiels ou ne dépassant pas 30 mètres de profondeur. Il offre, en cas d'accident, des ressources précieuses, en ce sens qu'il peut permettre aux ou-

Digitized by Google

vriers d'aborder le fond même du puits, et de travailler *de leurs mains* sur le point même où peut se trouver l'obstacle qui s'oppose à l'enfoncement ; par exemple, d'enlever quelque gros bloc de rocher, qui se trouverait dans un terrain de transport et empêcherait la descente d'une colonne.

Si on ne l'employait ainsi qu'accidentellement, on peut penser que parfois on trouverait avantage à substituer à l'appareil complexe de la machine à comprimer et du sas à air l'appareil simple et portatif de MM. Roucayrol et Denayrouze, qui permet de travailler sous une hauteur d'eau pouvant aller jusqu'à une vingtaine de mètres.

On peut même supposer qu'on atteindrait au besoin une profondeur plus grande, et *même, à la rigueur, une profondeur quelconque*, pourvu que pendant le travail on pût, momentanément, faire baisser les eaux dans le puits jusqu'à une vingtaine de mètres au-dessus du point où les ouvriers devraient travailler.

Le procédé Guibal a sur le procédé Triger l'avantage d'être indépendant de la profondeur à laquelle on opère ; mais il demande une installation assez complexe, et l'expérience a montré qu'il était d'une application difficile. Il offre moins de ressources que les autres procédés, surtout que le procédé Triger, en cas d'accident causé par la nature du terrain ; car on ne peut attaquer le terrain qu'avec des outils devant passer par le tuyau central, tandis qu'avec le procédé Chaudron, on a à sa disposition, du moins pendant le fonçage, toute la section du puits et tous les artifices connus des sondeurs, et qu'avec le procédé Triger, les ouvriers peuvent se porter *sur le point même* où la difficulté se présente, la reconnaître et l'attaquer directement, au lieu de manœuvrer de loin, et en quelque sorte *au jugé*, à l'extrémité d'une longue ligne de tiges.

Le procédé Kind et Chaudron a la même propriété que le procédé Guibal, de fonctionner à toute profondeur.

En outre, il est d'un emploi plus sûr, et il peut être appliqué au plus grand nombre des cas. C'est celui des trois procédés qui me semble être le plus indiqué, dès que les morts-terrains aquifères atteignent des profondeurs *supérieures à* 30 mètres, ce qui est le cas de toutes les houillères du Nord et du Pas-de-Calais, où l'on a sou-



Digitized by Google

vent des profondeurs doubles, triples et au delà. Cette possibilité d'application plus fréquente est, par elle-même, un avantage sérieux du système, en ce sens qu'elle permet de trouver plus facilement des contre-maîtres et des ouvriers habitués à ce genre de travail, qui sera toujours assez délicat et gagnera beaucoup, pour la sécurité et la rapidité du travail, à être confié à un personnel déjà expérimenté.

Je crois que ce système est appelé à devenir d'un usage courant, pour le fonçage de toutes les avaleresses *présumées devoir être assez difficiles à cause des niveaux à passer.*

On y trouvera, je pense, habituellement économie de temps et d'argent; on ne redoutera plus autant que par le passé les travaux de ce genre, et, lorsqu'on aura à créer un nouveau centre d'exploitation, on n'hésitera pas à préférer à un seul grand puits unique, devant faire tous les services, y compris celui de la ventilation, deux puits distincts, à moindre section, devant servir, l'un à l'entrée, l'autre à la sortie de l'air.

La première installation ne sera pas, après tout, beaucoup plus dispendieuse, et l'exploitation y gagnera essentiellement, au point de vue de la sécurité des ouvriers, comme à celui de l'extension qui pourra être donnée aux travaux.

Il me paraît que telle est la voie dans laquelle les compagnies exploitantes devront tendre à s'engager dans les nouveaux centres d'exploitation à créer, lorsqu'elles auront des terrains difficiles à traverser, et qu'elles projetteront de donner un grand développement à leurs travaux souterrains.

(**245**) C'est ainsi, par exemple, que, dans une situation analogue à celle où se trouvent les houillères du Pas-de-Calais, un centre de production sera très-convenablement constitué au moyen de deux puits entièrement distincts sur toute leur hauteur, séparés même l'un de l'autre d'un certain nombre de mètres.

Ces deux puits seront égaux et d'un diamètre de 3 mètres à $3^{m},50$ au plus.

L'un servira à l'extraction et à l'entrée de l'air; l'autre, à la sortie, et, en outre, à tous les services accessoires d'introduction

Digitized by Google

des ouvriers et des bois, d'entrée ou de sortie des terres, etc.

Ils seront donc l'un et l'autre munis d'engins d'extraction. Ces engins pourront être égaux, celui de la seconde fosse fonctionnant à large détente, lorsqu'il n'a pas besoin de toute sa force.

Une telle disposition me semble avoir des avantages évidents.

En première ligne, elle assure complétement la sortie des hommes, en cas d'accident.

La partie supérieure de ces deux puits peut être exécutée successivement, par le procédé Chaudron, à l'aide du même appareil, plus promptement et plus économiquement que la partie correspondante d'un seul puits à grande section que l'on foncerait en avaleresse.

L'extraction pourra être aussi forte que le permettra la richesse des gîtes rencontrés par les puits; elle ne sera jamais exposée à être interrompue complétement par un accident arrivé à la machine d'extraction, puisque celle de l'autre fosse pourra alors la suppléer; les deux machines pourront même, au besoin, marcher *simultanément*, dans le cas où l'on aurait des besoins extraordinaires de production.

Digitized by Google

# CHAPITRE X

## GÉNÉRALITÉS SUR L'AMÉNAGEMENT, LES TRAVAUX PRÉPARATOIRES ET L'EXPLOITATION D'UNE MINE

(**246**) Si nous jetons un coup d'œil en arrière sur les objets traités dans les chapitres précédents, nous voyons que nous sommes en possession :

*En premier lieu*, des notions théoriques que, dans l'état actuel de la science, on peut se faire sur l'origine et le mode de formation des divers gisements de substances minérales ; notions générales qui, sans expliquer encore, au point de vue chimique ou minéralogique, tous les détails de structure et de composition que peut offrir un gisement donné, suffisent parfaitement pour comprendre le mécanisme de sa formation, expliquer les traits principaux de son allure, et, par suite, guider pratiquement le mineur dans ses travaux de recherche ou d'exploitation ;

*En second lieu*, de la connaissance de la marche à suivre par le mineur, pour faire l'exploration d'un terrain dans lequel la présence d'un gîte est soupçonnée, et pour faire sur ce gîte, après que son existence a été matériellement constatée, les travaux de recherche et les constatations devant servir à reconnaître s'il est susceptible d'exploitation ;

*En troisième lieu enfin*, de la connaissance des divers procédés techniques qui sont à la disposition du mineur, pour l'exécution et le maintien de ses travaux, depuis l'emploi des outils de terrassement les plus simples jusqu'aux procédés les plus complexes, dans

Digitized by Google

lesquels on se propose soit d'économiser la main-d'œuvre ou d'accélérer le travail par l'emploi de moyens mécaniques, soit de lutter, par les moyens que nous avons fait connaître en dernier lieu, contre les difficultés spéciales qui peuvent résulter de l'abondance des eaux et de la nature ébouleuse du terrain.

Nous devons actuellement supposer que la question d'*exploitabilité* du gîte a été tranchée dans un sens affirmatif. Nous pouvons penser qu'avec nos moyens actuels, il est bien peu de difficultés matérielles, si même il en existe, que le mineur ne puisse arriver à surmonter ; nous supposerons au moins qu'il en soit ainsi, c'est-à-dire que le gîte puisse être abordé sans difficultés financièrement ou matériellement insurmontables, et qu'il s'agisse d'en organiser et d'en poursuivre l'exploitation.

(**247**) Cette entreprise comporte des travaux de diverses catégories : d'abord ceux de premier *établissement* ou *d'aménagement*, qui doivent être faits une fois pour toutes, ou du moins pour une assez longue période, et qui ont pour but d'atteindre le gîte une première fois, et d'organiser les moyens d'extraction, d'épuisement, de ventilation, etc., d'installer, en un mot, *un centre de production ;* en second lieu, les *travaux préparatoires*, caractérisés par cette circonstance qu'ils doivent se continuer indéfiniment, ou du moins se répéter périodiquement, pendant toute la durée de l'exploitation des diverses parties du champ d'exploitation créé par les travaux de premier établissement ; tels sont les approfondissements de puits, les prolongements de galeries à travers bancs, ou la création de nouvelles galeries à d'autres niveaux, etc., etc., toutes dépenses qui doivent être directement à la charge de l'exploitation, ou du moins y être portées annuellement ; en troisième lieu enfin, les *travaux d'exploitation* qui se font sur le gîte lui-même, et dont l'objet ou le résultat immédiat est la production d'une certaine quantité de la matière utile que ce gîte doit fournir.

Ces diverses catégories de travaux comportent quelques observations générales, qu'il convient de résumer.

(**248**) Les travaux destinés à aller recouper le gîte en profon-

Digitized by Google

deur, consistent en puits ou en galeries, ou en combinaisons diverses de puits et de galeries.

Les puits peuvent être ou verticaux, ou inclinés suivant la ligne de plus grande pente du gîte ; on les nomme, dans ce dernier cas, des cheminées ou des fendues.

Les galeries peuvent être ou *à travers bancs*, ou *en direction sur le gîte*. On les désigne souvent, dans le premier cas, sous le nom de *galeries au rocher*, et dans le second, sous le nom de *galeries d'allongement*.

Les galeries aboutissant au jour ont sur les puits l'avantage de supprimer les frais d'extraction et d'épuisement, du moins tant que l'exploitation a lieu en amont-pendage de ces galeries ; elles ont en outre, ou peuvent avoir, un autre avantage, parfois très-important, celui de fournir de la force motrice pour l'exploitation ultérieure de l'aval-pendage, en créant des chutes d'eau sur des hauteurs que le relief du sol ne permettrait pas d'obtenir.

Les galeries en direction servent, pendant leur exécution même, à reconnaître le gîte et à en préparer l'exploitation. Les galeries à travers bancs servent à reconnaître non le gîte, mais le terrain encaissant, et à faire découvrir les gîtes qui peuvent exister parallèlement au gîte donné (voir n° 28).

Les puits verticaux correspondent aux galeries à travers bancs, comme les puits inclinés, ou fendues, aux galeries en direction.

Les puits peuvent être nécessaires, quand le relief du sol est tel qu'il ne présente qu'un amont-pendage insignifiant, ou bien, ce qui peut arriver souvent dans la reprise des vieux travaux, quand les anciens ont exploité l'amont-pendage au-dessus du niveau des vallées environnantes.

Les puits ont un avantage assez important sur les galeries, en ce sens que leur orifice n'a pas de position obligée, et qu'on peut faire varier celle-ci dans une certaine mesure, pour obéir à diverses convenances, soit au point de vue de l'emplacement extérieur, soit à celui des travaux intérieurs, tandis que pour une galerie la position de son orifice est généralement déterminée, ou du moins ne peut pas être prise arbitrairement, lorsqu'on s'impose la condition de le pla-

Digitized by Google

cer aussi bas que possible, sans que la galerie atteigne un trop grand développement en longueur.

Il est nécessaire, pour en déterminer l'emplacement, d'avoir la représentation graphique du relief du sol, et cet emplacement doit être cherché le long des lignes de thalweg des vallées les plus profondes.

Les puits verticaux sont préférables aux puits inclinés, quand on doit y installer de grands épuissements, les pompes et leurs attirails de tiges étant plus commodes à installer et demandant moins d'entretien, lorsqu'ils sont établis verticalement. Cependant on peut citer beaucoup de mines métalliques, en Angleterre notamment, sur lesquelles de grandes machines d'épuisement font mouvoir des pompes dans des puits inclinés, ou dans des puits qui, foncés verticalement jusqu'au gîte, se prolongent ensuite suivant son inclinaison. Cette disposition de puits inclinés se justifie lorsque le terrain encaissant est très-dur, et qu'il s'agit de l'exploitation d'un filon. Dans ce cas, en effet, un puits incliné permet d'étudier le filon en détail, pendant le fonçage même. Mais s'il s'agit d'obtenir une très-forte production, la préférence doit être assurément donnée aux puits verticaux. Il faut, en effet, pour y arriver, élever des charges et surtout imprimer des vitesses, qui ne sont guère admissibles que dans des puits verticaux munis des meilleurs systèmes de guidages.

(**249**) En général, pour une mine importante, un seul orifice, puits ou galerie, est considéré comme insuffisant. Ce système n'est *admissible* que dans deux cas : s'il s'agit de travaux souterrains peu étendus, dans lesquels on n'a pas à craindre le dégagement du grisou, comme sont beaucoup d'exploitations de minerai de fer, de pierre à bâtir, de pierre à plâtre, etc., ou bien si les puits sont d'un établissement très-difficile et très-dispendieux, comme sur quelques points du bassin houiller de Newcastle, dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais, dans le ci-devant département de la Moselle, etc., etc.

En dehors de ces cas, un centre nouveau de production qui n'est pas mis dès l'origine, ou n'est pas appelé à être mis assez prochainement en relation avec d'autres exploitations, *doit* communiquer

Digitized by Google

au jour par deux orifices entièrement distincts. Un seul orifice divisé en deux compartiments par une cloison étanche, pour former un retour d'air, *n'est pas une solution acceptable.*

On sait combien, en Angleterre, les industriels, et le public en général, sont peu disposés à accepter le régime réglementaire et protecteur, dont l'administration, en France, est toujours trop prête à prendre l'initiative, obéissant d'ailleurs en cela le plus souvent, on doit le reconnaître, à l'opinion publique. Néanmoins, en Angleterre même, une exception a été faite à ce qu'on peut appeler le régime anglais, sur le point qui nous occupe. Un acte du Parlement de 1862, confirmé par une loi de 1872, oblige tous les propriétaires de houillères exploitées par puits à établir deux puits ou deux issues entièrement distinctes.

La nouvelle loi de 1872 précise les conditions d'établissement de ces deux puits.

Ils doivent être séparés par un massif de rocher en place d'au moins 10 pieds (3 mètres d'épaisseur), et reliés par une communication d'au moins 4 pieds de large et cinq pieds de haut (soit $1^m,22$ sur $1^m,53$).

Chacun d'eux doit être muni d'appareils appropriés à la descente et à la montée des hommes, fonctionnant ou toujours prêts à fonctionner dans un délai raisonnable.

La justice peut, sur la requête de l'attorney général, faire injonction de suspendre le travail dans une mine où ces conditions ne seraient pas rigoureusement remplies, ou bien où les circonstances ne rentreraient pas dans quelques cas d'exception précisés dans la loi.

Ces dispositions se motivent par les désastres auxquels ont été exposées les mines munies d'un seul puits, lorsque quelque gros accident est venu détruire la circulation de l'air et les moyens de sortage.

On a vu, par exemple, de grandes explosions de grisou se faisant sentir jusqu'au jour, détruire, sur toute la hauteur de la colonne du puits, la cloison d'aérage, et remplir ainsi le bas du puits, jusqu'au-dessus des recettes intérieures, d'une masse de bois enchevêtrés fermant toute issue aux ouvriers renfermés dans la mine, et ne permettant pas de pénétrer jusqu'à eux en temps utile.

La destruction de la cloison peut être amenée, à défaut d'une ex-

Digitized by Google

plosion de grisou, par la chute accidentelle de quelques corps lourds et de grand volume. On a cité l'exemple du balancier d'une machine d'épuisement qui s'est rompu en deux et dont une moitié tombée dans le puits a tout démoli sur son passage, a *remblayé*, en quelque sorte, le puits sur plus de 20 mètres, et a entraîné la mort de tous les ouvriers, sans exception, qui étaient dans l'intérieur de la mine au moment de la rupture.

Le même désastre pourrait se produire si le feu venait à être mis aux boisages du puits et ne pouvait être éteint immédiatement. Nous en avons cité un exemple (n° 216).

Le centre d'extraction comprendra donc généralement *deux puits distincts*, et non un seul puits auquel on aurait donné une section suffisante pour y installer tous les services, y compris celui de la ventilation.

C'est, je le répète, une mesure de sûreté qu'on peut regarder comme *nécessaire*, bien qu'elle ne soit pas réglementairement obligatoire en France, et je n'admets pas qu'une mine à grison, destinée à une grande production et à un grand développement de travaux, puisse être regardée comme étant dans une situation normale et définitive, *tant que le puits d'entrée et le puits de sortie de l'air ne sont pas entièrement distincts, à leur orifice et sur toute la longueur de leurs colonnes.*

(**250**) La forme et la section des puits dépendent naturellement du mode employé à soutenir les parois et du service plus ou moins complexe qu'on leur demande. Quant à la forme, nous avons vu qu'un puits appelé à une certaine durée doit être de préférence un puits rond muraillé. Quant à la dimension, on peut le réduire à $1^m,50$ et même à $1^m,30$ de diamètre pour des excavations peu importantes, faites avec des petites bennes, ou cuveaux, de 1 1/2 à 2 ou 3 hectolitres.

Sur un diamètre de $2^m,50$, on peut déjà extraire avec des bennes de 8 à 10 hectolitres; de grandes bennes, de 15 à 20 ectolitres, exigent $3^m,30$ à $3^m,60$.

Dans ces dernières années, on a souvent atteint 4 mètres et $4^m,30$ pour extraire avec des cages; mais il paraît inutile de dépasselre

Digitized by Google

premier de ces deux chiffres, tant qu'on ne veut pas installer un double service d'extraction, et lorsqu'on n'est pas obligé de ménager un large compartiment pour le retour d'air.

On doit d'ailleurs, dans chaque cas particulier, déterminer exactement le diamètre d'après l'étude de détail qu'on aura faite des appareils d'extraction, pompes, échelles mécaniques, etc., qu'on voudra installer sur le puits.

Une fois le diamètre du puits ainsi déterminé, il n'y a pas utilité à l'augmenter, un *excès* de dimension étant sans influence sur le bon fonctionnement des appareils mécaniques employés à l'extraction, à l'épuisement et à la remonte des hommes, et ayant pour conséquence *toujours* d'accroître la dépense, et *parfois*, dans une mesure importante, les difficultés du fonçage.

Cet excès de dimension n'aurait pas même habituellement un intérêt sérieux pour la ventilation, du moins dans une grande mine, la section du puits étant généralement assez grande et sa longueur à peu près négligeable, devant les mêmes éléments du réseau de galeries que le courant d'air doit parcourir, depuis le pied du puits d'entrée jusqu'au pied du puits de sortie.

(**251**) Relativement aux galeries à travers bancs, leur forme varie, comme nous avons vu, selon qu'elles sont boisées ou muraillées. Il est intéressant, dans les terrains difficiles, de les faire à section étroite, pour diminuer leurs frais de percement et d'entretien.

On ne leur donne alors que la dimension nécessaire pour une voie de roulage, et l'on y pratique, de distance en distance, des gares d'évitement pour le croisement des convois. On peut n'avoir ainsi que $1^m,30$ de largeur sur moins de $1^m,80$ de hauteur utile.

Mais, quand on n'a pas la sujétion résultant de la difficulté des terrains, il est préférable d'augmenter ces dimensions, soit pour pouvoir établir une double voie, dans les parties où le roulage est le plus actif, soit pour faciliter la circulation du courant d'air, quelquefois aussi pour former, sur la hauteur ou sur la largeur de la galerie, un compartiment pour le retour d'air.

On pourra porter ainsi la largeur et la hauteur à $2^m,50$, ce qui

Digitized by Google

donne une section presque triple de celle qu'on obtient avec les dimensions réduites indiquées plus haut.

Si la nature du terrain ne permettait pas de maintenir la galerie ouverte sur la largeur nécessaire pour deux voies, même dans les gares d'évitement indispensables à une circulation active, on devrait former ces gares en divisant la galerie en deux, par une ligne médiane de buttes, si elle était boisée, par un mur servant de pied-droit commun à deux voûtes distinctes, si elle était muraillée.

Ces galeries sont supposées être horizontales ou de niveau. En réalité, on leur donne une petite pente dans le sens où doivent s'écouler les eaux ou se faire les transports.

Pour les eaux, la plus faible pente (1 ou 2 millimètres au plus) est largement suffisante.

Pour le transport des produits, la pente varie, selon les circonstances qu'on indiquera plus loin en parlant du roulage intérieur, de 5 à 15 millimètres.

(**252**) L'emplacement d'un puits ou d'un centre de production donné se détermine, comme nous l'avons dit plus haut, par des considérations diverses, tirées, les unes, des conditions locales extérieures, les autres, de l'allure connue, ou supposée, du gîte dans le sein de la terre.

On cherchera un emplacement où l'on puisse facilement se débarrasser des déblais provenant des travaux dans le rocher ou de l'exploitation même du gîte, ou bien, au contraire, pour l'application de certains méthodes d'exploitation, où l'on puisse trouver les remblais qui seront nécessaires.

On recherchera les emplacements facilement accessibles aux consommateurs, si l'on vend sur place, et pouvant être reliés aux voies de transport qui existeront dans le pays (grandes routes, voies navigables ou chemins de fer), si les produits doivent être exportés au loin.

On se préoccupera de la valeur des terrains ; on devra se placer (à moins du consentement des propriétaires) à 100 mètres au moins de leurs habitations ou des clôtures y attenant.

On se préoccupera d'avoir l'eau pour les machines (celle des

Digitized by Google

mines étant presque toujours plus ou moins acide); on se placera donc près des sources ou des cours d'eau, avec la précaution de mettre l'orifice du puits au-dessus du niveau des plus grandes crues.

On évitera de se placer dans les terrains plus ou moins tourbeux, ou dans les alluvions parfois très-aquifères qui occupent les dépressions du sol, et on s'épargnera quelquefois de très-sérieuses difficultés en se plaçant à flanc de coteau, à quelques mètres de hauteur au-dessus du fond d'une vallée, etc., etc....

(**253**) D'autre part, en ayant égard à la position du gîte dans le sein de la terre, on sera conduit à placer le puits de manière qu'il aille le recouper à une profondeur donnée. En opérant ainsi, les galeries à travers bancs délimitant les divers étages de l'exploitation seront, d'abord, dans la région du toit, et, plus bas, dans la région du mur, et présenteront un minimum de longueur totale.

Cependant, si le gîte est puissant, et assez rapproché de la verticale pour que tous les travers bancs soient placés dans la région du mur, sans acquérir bientôt une longueur excessive, on pourra juger à propos de placer le puits tout entier dans le mur. Il sera ainsi à l'abri des dislocations plus ou moins importantes que l'exploitation amène presque inévitablement dans la région du toit; ce sera un grand avantage pour les appareils d'extraction, et, plus encore, pour les appareils d'épuisement qui fonctionnent sur ces puits, etc., etc.

(**254**) On voit que les deux ordres de considérations ci-dessus sont essentiellement différents, et qu'ainsi elles ne conduiront point, en général, à déterminer *le même emplacement* pour l'orifice du puits. C'est à ce point de vue que l'on peut dire que cet emplacement n'est nullement fixé d'une manière obligatoire.

On étudiera l'ensemble des conditions diverses, ordinairement non concordantes et parfois même entièrement contradictoires, auxquelles il serait désirable de satisfaire.

Une fois l'emplacement choisi, on pourra toujours se rattacher, au besoin, à l'emplacement que les seules considérations extérieures auraient fait préférer, au moyen de quelque disposition appro-

Digitized by Google

priée (chemin de fer extérieur, plan incliné, automoteur ou ascendant, galerie partant du jour et allant déboucher dans le puits, etc., etc.); tout comme, au moyen d'une galerie à travers bancs établie au niveau convenable, on pourra, en partant du puits, aller rejoindre le gîte au point même où l'aurait atteint le puits, s'il avait été placé exclusivement en ayant égard à l'allure de ce gîte.

(**255**) Les questions de section et d'emplacement une fois résolues, le puits s'exécute jusqu'à la profondeur fixée; on l'arme des appareils mécaniques nécessaires aux divers services de la mine, on rejoint le gîte une première fois par un ou deux travers bancs, et la *période du premier établissement*, ou de *l'aménagement*, est close en principe, sauf en ce qui concerne les appareils dont on reconnaîtrait que la pose peut ne pas être immédiate.

Une autre question se présente alors, celle du système qui devra être suivi dans l'exécution progressive *des travaux préparatoires*, destinés à permettre l'enlèvement successif des diverses parties en lesquelles on peut décomposer le champ d'exploitation dont on dispose.

Le système de division qui prévaut généralement consiste à partager le champ d'exploitation, dans le sens vertical, en divers étages, par une série de galeries à travers bancs, ou galeries au rocher, dites aussi bacnures, ou bouveaux, dont les différences de niveau varient selon les circonstances locales, et qui correspondent chacune à une recette, ou place d'accrochage.

La hauteur d'un étage est rarement inférieure à 15 mètres, et supérieure à 50 mètres. Les galeries peuvent d'ailleurs être d'autant plus rapprochées qu'elles sont plus courtes.

Ces galeries sont menées, à partir du puits, perpendiculairement à la direction du gîte ou des gîtes parallèles à exploiter.

Au point de rencontre d'un gîte, une galerie en direction, ou galerie *d'allongement*, est poussée sur ce gîte, à droite et à gauche. Les galeries d'allongement servant de base à deux étages consécutifs sont mises en communication par un ouvrage montant quelconque. La galerie inférieure sert à amener l'air venant du puits d'entrée; la galerie supérieure le ramène au puits de sortie avec lequel on la

Digitized by Google

met en communication, et les travaux préparatoires d'un étage se trouvent ainsi complétés.

(**256**) Plusieurs questions se présentent ici :

1° Sur quelle échelle peuvent être exécutés ces travaux préparatoires ?

2° Quel développement peut-on donner aux galeries d'allongement de chaque étage ?

3° Dans quel ordre doivent être exploités les divers gîtes superposés ?

4° Dans quel ordre les divers étages d'un même gîte ?

La première question comporte des réponses très-différentes, selon les cas.

Il est clair qu'à mesure que les puits deviennent plus profonds et plus chers à établir, la condition d'amortir les frais de premier établissement, sans surcharger par trop le prix de revient, conduit à leur donner un champ d'exploitation plus étendu. Si l'on considère, par exemple, un bassin houiller affleurant au jour et ayant ses couches à une assez faible profondeur, on pourra supposer que les galeries à travers bancs soient poussées, peut-être, jusqu'à 100 ou 150 mètres de chaque côté d'un puits ; ce qui reviendrait à échelonner les puits à 200 ou 300 mètres de distance les uns des autres, suivant la ligne de plus grande pente des couches.

Au contraire, pour des puits très-profonds et rendus très-dispendieux à établir, soit par cette profondeur même, soit par la présence de morts-terrains aquifères, les travers bancs pourront très-bien être poussés à 500 ou 600 mètres, même jusqu'à 1 kilomètre et plus ; ce qui reviendrait à porter à 2 kilomètres la distance de deux puits situés sur la ligne d'inclinaison des couches.

On peut dire que tout conspire à augmenter, de plus en plus, cette distance.

Les puits deviennent plus chers à établir, non-seulement parce qu'il faut leur donner une profondeur croissante, ainsi qu'on vient de le dire, mais aussi parce qu'on les arme de moyens de plus en plus puissants.

Digitized by Google

On leur demande une production journalière plus forte, en rapport avec ces moyens, et cette production plus forte demande un plus grand développement de chantiers.

On remarquera d'ailleurs, qu'à la condition d'appliquer à la mine des moyens suffisants de ventilation, une grande longueur des galeries à travers bancs n'offre pas de difficulté pratique, et qu'elle peut même, au point de vue du prix de revient, n'être pas onéreuse, si l'on établit dans ces galeries de bonnes voies de roulage, avec une traction par chevaux, ou même, quand les circonstances s'y prêtent, avec une traction mécanique. Un transport dans ces conditions peut se faire économiquement, parfois à meilleur marché que le transport correspondant qu'il faudrait peut-être faire au jour, s'il y avait à concentrer *sur un même point* les produits amenés au jour par deux puits différents.

(**257**) On comprend que les mêmes motifs qui conduisent à donner aux galeries à travers bancs de grandes longueurs, puissent conduire à adopter le même système pour les galeries en direction établies dans chaque gîte à la rencontre de chaque travers bancs.

On pourra ne leur donner qu'une cinquantaine de mètres de chaque côté du travers bancs, ou placer les puits à 100 mètres les uns des autres, suivant la ligne de direction, si ces puits peuvent être creusés et outillés à peu de frais.

On pourra aller à 500 ou 600 mètres, parfois jusqu'à un millier de mètres, lorsqu'il s'agira de puits profonds pourvus d'installation importantes. On doit faire cependant une différence entre les galeries à travers bancs et les galeries en direction, en ce sens que ces dernières ne comportent pas toujours d'être allongées en quelque sorte indéfiniment. Elles ne sont pas, en effet, établies dans les mêmes conditions de solidité que les travers bancs. Il arrive souvent qu'elles donnent lieu à beaucoup d'entretien, et qu'on ne peut les maintenir ouvertes sans très-grands frais, au delà d'un certain temps, ce qui naturellement limite leur longueur.

Ainsi une galerie en direction, dans beaucoup de couches minces en terrain peu solide, comme l'est souvent le terrain houiller du Nord de la France et de la Belgique, deviennent déjà d'un entretien

Digitized by Google

difficile et très-coûteux lorsqu'elles atteignent 300 à 400 mètres, à partir des travers bancs.

Dans ce cas, si les convenances ont conduit à espacer les puits en direction à plus de 600 à 800 mètres, on se trouve conduit à des dépenses d'entretien assez onéreuses, lorsqu'on veut, comme on doit le faire en principe, ne laisser entre les travaux des deux puits aucun massif qui aurait bien souvent la chance d'être définitivement sacrifié.

On peut quelquefois, lorsque les diverses couches sont assez rapprochées, et qu'une d'elles se trouve avoir une épaisseur et un toit permettant d'y établir une bonne voie de roulage, profiter de ces circonstances pour pousser beaucoup plus loin l'ensemble des galeries d'allongement. Pour cela, lorsque la distance parcourue dans les diverses couches est déjà telle que ces galeries deviennent difficiles à tenir en état, on *les supprime*, ou du moins *on cesse de les entretenir*, sur une longueur donnée, sauf dans la couche spécialement désignée, où au contraire on établit, sur cette même longueur, une bonne voie de roulage pour une traction par chevaux, qui servira pour toutes les couches. A cet effet, à l'extrémité de cette voie, on rejoint ces couches par un travers bancs, au delà duquel les diverses galeries se poursuivent à l'état d'entretien.

On peut employer ce même artifice à plusieurs reprises, et à des intervalles d'autant plus courts que les couches sont elles-mêmes plus rapprochées et les galeries plus difficiles à entretenir.

(**258**) Les détails ci-dessus répondent aux deux premières questions posées plus haut (n° 256), et l'on voit que ces questions ne comportent pas de réponses bien précises, puisque, selon les circonstances, les dimensions horizontales du champ d'exploitation d'un puits donné peuvent varier, *très-rationnellement*, entre les limites extrêmes de 200 à 2,000 mètres suivant l'inclinaison, et de 100 à 1,200, ou même à 2,000, suivant la direction; soit une superficie allant de *quelques hectares à quelques kilomètres carrés*.

Quant à la profondeur de ce même champ, elle n'a d'autre limite théorique que celle même des gîtes. Elle croît naturellement, pour un centre de production donné, avec la durée de l'exploitation, et

Digitized by Google

d'autant plus rapidement que l'étendue horizontale est moindre et l'exploitation plus active.

Peu de mines de houille, au commencement de ce siècle, dépassaient 3 ou 4 cents mètres de profondeur ; on en compte, aujourd'hui, dans certains bassins houillers depuis longtemps en exploitation, à Charleroi notamment, qui atteignent 800 et même 900 mètres, et plus de profondeur. Des mines métalliques, dans divers districts métallifères, atteignent et dépassent ces mêmes profondeurs, et vont jusqu'au delà de 1.000 mètres. On ne voit d'ailleurs, comme on le dira plus loin, aucune difficulté radicale soit du chef de la ventilation et de la température, soit du chef des moyens mécaniques d'extraction et d'épuisement, à dépasser beaucoup les limites ci-dessus, et l'on peut dire que l'on est encore bien loin du terme où les richesses enfouies dans le sein de la terre cesseront d'être à la portée de l'industrie humaine, comme étant situées trop profondément, ou comme se trouvant à une température trop élevée.

Un champ d'exploitation d'une étendue limitée, qui aura suffi quand on était encore voisin du jour, peut devenir insuffisant, lorsqu'on est arrivé à des profondeurs exigeant une installation et des moyens d'action beaucoup plus puissants.

On doit comprendre par là comment, dans un bassin houiller où les puits avaient pu d'abord être multipliés, on est conduit, à mesure qu'on s'approfondit, à en diminuer progressivement le nombre, en concentrant de plus en plus l'extraction sur ceux qu'on laisse subsister.

C'est ainsi qu'on a vu depuis une trentaine d'années, dans beaucoup de bassins houillers, le principe de cette concentration prévaloir, et le nombre des puits diminuer, tandis que la profondeur des travaux augmentait, sans réduction, ou même avec un accroissement considérable de la production dans un périmètre donné.

Dans les houillères, on se contentait, il y a trente ou quarante ans, de demander à un puits un millier d'hectolitres, et souvent moins.

Aujourd'hui, il n'est guère de puits bien outillé qui n'en produise au moins 2,500 à 3,000 ; les productions de 4 à 6,000 ne sont pas rares dans les installations récentes, et l'on projette d'atteindre, on a même déjà atteint 8,000 et même 10,000 hectolitres.



Digitized by Google

Il faut, pour arriver à maintenir régulièrement ces grosses productions, user de toutes les ressources qu'offre l'état actuel de l'art des mines : c'est-à-dire installer les moyens de ventilation et d'extraction sur la plus large échelle; se réserver de pouvoir étendre beaucoup le champ d'exploitation, en établissant de bonnes voies de roulage, sur lesquelles on fera le transport avec des chevaux ou même par des moyens mécaniques ; hâter, par des moyens de même espèce, l'exécution des travaux préparatoires, etc., etc.

Une exploitation ainsi installée est à ce qu'était une mine il y a moins d'un siècle, en quelque sorte ce qu'est un grand atelier de construction, muni d'un outillage et d'engins de manœuvre perfectionnés, à un atelier dans lequel tout le travail s'exécuterait entièrement à bras.

(**259**) Le périmètre d'un champ d'exploitation une fois défini, et ce champ subdivisé en étages d'une hauteur verticale déterminée, dont chacun correspond à un ensemble de travaux préparatoires et est désigné habituellement soit par un numéro d'ordre, soit par la cote de niveau de l'accrochage correspondant, rapportée à l'orifice du puits ou à un plan horizontal quelconque : on doit considérer que chacun de ces étages donnera lieu à autant d'exploitations distinctes et plus ou moins simultanées qu'il y a de gîtes, et chaque gîte à autant d'exploitations successives qu'on aura fait d'étages.

Cet ensemble de travaux comporte l'examen des deux dernières questions énoncées au n° 254.

En principe, on doit exploiter les divers gîtes *dans l'ordre descendant*, c'est-à-dire *ceux du toit avant ceux du mur.*

Cette règle est fondée sur ce que l'exploitation, même avec des gîtes peu puissants et en remblayant aussi bien que possible, produit nécessairement des mouvements et des dislocations plus ou moins importantes dans la région du toit; d'où peuvent résulter, pour un gîte situé dans cette région, de plus grandes difficultés de soutènement des galeries et une plus forte proportion de menu obtenu à l'abattage.

C'est là la règle *purement théorique.* Mais, en pratique, pourvu que le gîte du mur ait été convenablement remblayé, et que celui du

Digitized by Google

toit soit peu puissant et placé à une assez grande distance du premier, 15 ou 20 mètres par exemple, le gîte du toit n'aura guère éprouvé qu'un mouvement d'ensemble dû à l'affaissement des assises, qui se détachent successivement de leur toit, pour venir s'appuyer sur leur mur affaissé lui-même par suite de la compression des remblais. Ce mouvement d'ensemble cause peu de dislocation, et il peut même faciliter l'abattage dans des couches qui, à leur état naturel, étaient très-fortement soudées à leurs épontes.

Ainsi la règle théorique posée, indispensable pour des gîtes puissants et rapprochés, exploités par éboulement, devient *de moins en moins obligatoire*, à mesure que les gîtes sont moins puissants et plus éloignés, et que leur exploitation donne lieu à de moindres mouvements dans la région de leur toit.

Il arrive un moment où l'on a la faculté de suivre un ordre quelconque, en se basant sur des considérations commerciales ; on peut même, comme on vient de le dire, être conduit, par des considérations techniques, à suivre l'ordre inverse de celui qu'indiquerait la règle ci-dessus.

La règle, d'ailleurs, ne doit jamais être entendue en ce sens que l'exploitation d'un gîte au mur dût être ajournée en quelque sorte indéfiniment. Elle veut dire seulement que cette exploitation doit être conduite de telle manière que les mouvements des terrains qui en résulteront ne se fassent sentir que *dans une région où le gîte supérieur est déjà enlevé.*

L'application de la règle suppose que l'on sache déterminer exactement les limites de cette région.

Cela n'est pas toujours possible d'une manière bien précise avec des gîtes puissants, exploités par éboulement, dont l'exploitation produit des dislocations, ou des écrasés, qui viennent quelquefois se manifester jusqu'à la surface par des fontis dont les talus sont diversement inclinés.

Mais, dans les cas nombreux où l'on remblaye, les affaissements se font successivement sur ces remblais, sans dislocations violentes et sans foisonnement des couches.

Si donc on suppose une inclinaison et une direction uniformes

Digitized by Google

dans le terrain, les affaissements sont, à chaque instant, limités à une surface cylindrique normale aux couches, ayant pour base la surface remblayée dans le gîte que l'on considère.

La condition géométrique à remplir, pour appliquer la règle théorique énoncée, est donc que ce cylindre, prolongé jusqu'au gîte du toit, ne rencontre que des parties de ce gîte déjà exploitées.

(**260**) Quant à l'ordre à suivre dans les étages d'un même gîte, on a émis l'opinion qu'il fallait suivre l'ordre ascendant ; qu'en se portant d'abord à une très grande profondeur, les mouvements ne pouvaient se faire sentir, du moins avec autant de force, jusqu'à la surface ; qu'on retardait ainsi l'accès de l'eau dans les travaux et l'époque à laquelle une machine spéciale pour l'épuisement devenait nécessaire ; qu'à mesure qu'on remontait dans l'exploitation, on pouvait laisser les eaux envahir les travaux abandonnés sans avoir à les épuiser, etc., etc.

Je crois ces raisons tout à fait insuffisantes pour justifier un aperçu théorique que la pratique ne vient nullement confirmer.

Au point de vue économique, il est évident que l'excédant de dépense, et surtout la perte de temps qu'entraînerait, pour une affaire industrielle naissante, l'obligation d'aller s'enfoncer de suite à une très grande profondeur, dans une région peut-être encore mal connue, compenseraient, et au delà, les petits avantages, vrais ou prétendus, énoncés plus haut.

J'ajoute qu'au point de vue technique, le système n'est pas plus recommandable qu'au point de vue économique. Tout ce qu'on peut dire de plus fort en sa faveur, c'est que, si un gîte est peu puissant et dans une position assez rapprochée de l'horizontale, *il est indifférent* de commencer par le haut ou par le bas ; mais, à mesure qu'il a plus de puissance et d'inclinaison, l'obligation de prendre les étages *dans l'ordre descendant* devient de plus en plus impérieuse, et cela par un motif tout à fait analogue à celui qui fait exploiter le gîte du mur après le gîte du toit, c'est-à-dire pour que les mouvements résultant de l'exploitation actuelle n'aient d'effet possible que dans une partie déjà exploitée.

Ainsi, en définitive, la règle doit être, en général, *l'ordre descen-*

Digitized by Google

*dant*, aussi bien pour *les divers étages d'un même gîte* que pour *les divers gîtes d'un même étage*.

Telles sont, à mon avis, les réponses à faire aux quatre questions posées précédemment (n° 256).

(**261**) En résumant ce qui précède, nous voyons par quelles considérations nous avons délimité le champ d'exploitation réservé à un centre de production donné; comment ce champ d'exploitation indéfini, ou du moins indéterminé en profondeur, se subdivise en étages par une série de travaux préparatoires établis successivement à divers niveaux; enfin, quel ordre on doit suivre, en général, soit dans l'exploitation des divers gîtes parallèles touchés par ces travaux préparatoires, soit dans l'exploitation des divers étages d'un même gîte.

Il nous reste à voir comment on devra procéder à l'exploitation d'un de ces étages sur un gîte donné.

C'est à ce moment seulement qu'intervient la question de la *Méthode d'exploitation* applicable à ce gîte.

Les méthodes d'exploitation, à l'inverse de ce qui a lieu pour les travaux de premier établissement et les travaux préparatoires, dépendent, jusqu'à un certain point, de la nature du gîte, et essentiellement de sa définition géométrique, notamment de sa puissance et de son inclinaison.

Ces diverses méthodes doivent être décrites avec détail; car le choix à faire, pour un gîte donné, et la bonne et intelligente application de la méthode choisie, sont au nombre des objets les plus essentiels dont un ingénieur ait à se préoccuper.

Elles sont, comme on le verra ci-après, assez variées. Néanmoins elles comportent l'application de quelques remarques générales que nous devons d'abord exposer.

(**262**) Un gîte suffisamment développé pour être exploitable a toujours *au moins une dimension* très-étendue, ou pouvant être regardée pratiquement comme indéfinie.

Des deux autres, l'une *au moins* est encore assez importante, même

Digitized by Google

s'il s'agit d'un amas; elle est pratiquement indéfinie, comme la première, s'il s'agit d'une couche ou d'un filon.

Dans l'un comme dans l'autre cas, on doit concevoir, en général, qu'un enlèvement *complet* de la matière du gîte déterminerait, dans la masse du terrain, un vide étendu qui ne saurait subsister.

Il faut donc, si cet enlèvement complet a lieu, ou bien laisser ce vide se combler naturellement par des éboulements, ou bien substituer à la matière abattue des remblais provenant du triage des parties stériles contenues dans cette matière, ou pris sur quelque autre point, au jour ou à l'intérieur.

S'il est nécessaire, ou opportun, d'éviter ces éboulements, et si l'on n'a pas de remblais sous la main, ou bien si la matière exploitée n'a pas assez de valeur pour payer les frais de ces remblais, l'exploitation ne peut être que partielle, et l'on se borne à faire, dans la masse du gîte, diverses séries de galeries laissant entre elles des estaus et des piliers, qu'on reperce autant qu'on juge possible de le faire sans entraîner un effondrement général.

De là trois classes d'exploitation bien distinctes :

Les méthodes *par remblais*, dans lesquelles on abat toute la matière du gîte, en comblant avec des remblais tous les vides résultant de l'exploitation;

Les méthodes *par dépilages*, dans lesquelles, après avoir découpé le gîte par un réseau de galeries, on cherche à reprendre, en laissant les éboulements se faire en arrière, les piliers d'abord réservés entre ces galeries ;

Enfin, les méthodes *par piliers et estaus*, dans lesquelles on considère l'exploitation comme terminée, lorsqu'on a tracé le réseau des galeries.

(**263**) Le caractère propre des méthodes par remblais est de permettre un enlèvement aussi complet qu'on le voudra de la matière utile du gîte, sans amener dans le terrain encaissant aucune perturbation grave.

Les méthodes par dépilages ont *théoriquement* le même avantage que les méthodes par remblais, pour l'enlèvement complet du gîte; *mais*, *en pratique*, il y a toujours un certain gaspillage, soit sur la

Digitized by Google

quantité, soit sur la qualité de la matière obtenue : gaspillage d'autant plus marqué qu'on opère sur des gîtes d'une plus grande puissance. En outre, les mouvements de terrain, au lieu d'être, comme avec des remblais bien faits, de simples affaissements d'ensemble, sont de véritables dislocations dont l'importance croît avec la puissance du gîte, qui peuvent déprécier la surface du terrain, ébranler ou détruire les constructions établies, favoriser l'entrée de l'eau dans les travaux, etc., etc.

Les méthodes par piliers et estaus ne produisent *théoriquement* aucun mouvement de terrain, si toutefois, ce qui n'arrive pas toujours, on a été suffisamment réservé dans le tracé des galeries ; mais leur grand inconvénient, c'est de sacrifier une très-notable partie, généralement au moins le quart, parfois la moitié et plus de la matière utile du gîte.

Cet inconvénient est tel que ces méthodes, *autrefois assez répandues*, tendent aujourd'hui à être *généralement abandonnées*. Elles ne seraient économiquement justifiables que si la valeur marchande de la partie sacrifiée était inférieure aux frais qu'il faudrait faire pour l'abattre d'abord, et en outre, soit pour faire dans la mine tous les remblais nécessités par cet abattage, soit pour parer à toutes les indemnités de surface et aux épuisements qui seraient la conséquence des dépilages.

C'est, dans chaque cas, un examen à faire, et l'on reconnaîtra le plus souvent, sauf pour des matières pierreuses de très-peu de valeur, que le résultat de l'examen est favorable à l'emploi d'une méthode comportant l'exploitation totale du gîte.

(**264**) On comprend, d'après ce qui précède, en premier lieu, au point de vue technique, que les méthodes par remblais sont préférables aux autres, et que leur supériorité est d'autant plus marquée que le gîte est plus puissant et qu'il fournit par mètre cube une plus grande valeur ; en second lieu, que les méthodes de la deuxième classe, ou méthodes par dépilages, très-applicables aux gîtes de puissance moyenne situés à de grandes profondeurs, et peut-être alors plus économiques que les méthodes par remblais, perdent d'autant plus de leurs avantages qu'elles s'appliquent à des gîtes plus

Digitized by Google

puissants, plus rapprochés de la surface et situés sous des terrains de grande valeur, ou couverts d'habitations, ou bien disposés de manière à exposer la mine à être inondée ; troisièmement enfin, que les méthodes de la troisième classe, imparfaites au point de vue technique, ne sont applicables qu'aux matières de peu de valeur, ou aux cas dans lesquels on ne pourrait ni se procurer des remblais, ni employer le système des dépilages à des conditions de dépense acceptables.

(**265**) Quelle que soit la classe à laquelle appartient la méthode d'exploitation qu'on se proposera d'appliquer à un gîte donné, on devra s'attacher, dans l'application, à satisfaire aussi bien que possible aux diverses conditions suivantes :

1° Rendre l'abattage facile et avantageux, ce qu'on obtient conformément aux notions exposées dans le chapitre III, en menant les chantiers *aussi larges* et en pratiquant les sous-caves *aussi profondes* que possible, en adoptant une disposition en gradins qui présente la masse à abattre toujours dégagée sur plus d'une face, etc., etc.

2° Réduire à son minimum le développement et les frais des galeries maintenues à l'état d'entretien. Ce résultat s'obtiendra en ne les laissant ouvertes que sur des dimensions strictement suffisantes pour l'usage auquel elles sont destinées, et en supprimant, au fur et à mesure que l'on avance, toutes celles qui ne sont plus indispensables soit pour le transport, soit pour la ventilation.

3° Faciliter la surveillance et en même temps la ventilation, en concentrant le plus possible les ouvriers sur un quartier donné, au lieu de les disséminer dans toutes les parties de l'étage en exploitation; par conséquent, poursuivre activement les traçages sur le quartier dès qu'on a commencé à l'attaquer, et faire succéder promptement le dépilage au traçage, en ne réservant que les passages strictement nécessaires pour s'étendre au delà de ce quartier.

Cette marche aura encore l'avantage d'améliorer la qualité du produit obtenu, en ne donnant pas aux piliers le temps de s'écraser par une pression du toit s'exerçant pendant trop longtemps et sur une trop grande surface.

4° Combiner l'exploitation d'un étage avec les travaux prépara-

Digitized by Google

toires de cet étage ou des étages inférieurs, de manière qu'à mesure que l'exploitation d'une couche approche de son terme à cet étage, ou lorsqu'elle est temporairement suspendue par quelque accident, comme la rencontre d'une faille par exemple, on ait toujours quelques autres couches toutes préparées, à ce même étage ou à un étage inférieur, pour recevoir les ouvriers, et qu'on puisse ainsi compter sur une production normale à peu près constante, tout en ayant une certaine marge pour la faire varier accidentellement selon les besoins.

(**266**) Telles sont les principales considérations générales que nous croyons devoir présenter ici.

Nous ne parlons pas encore des dispositions à prendre en vue des services du transport intérieur, de l'extraction, de la ventilation ou de l'épuisement, etc. Ces choses seront traitées en leur lieu. Ces divers services reposent d'ailleurs sur des principes et emploient des procédés qui n'ont pas de rapport direct avec les méthodes d'exploitation dont nous avons actuellement à nous occuper.

Nous le ferons d'abord en termes généraux, en considérant successivement un certain nombre de types se rapportant aux cas les plus importants qui se rencontrent dans la pratique. Nous insisterons sur les circonstances les plus essentielles qui peuvent influer sur le choix de la méthode et sur les détails de son application.

Ces circonstances sont principalement :

La puissance et l'inclinaison du gîte, l'absence ou la présence dans le gîte de matières stériles propres à servir de remblais, la solidité plus ou moins grande du gîte, ainsi que des roches encaissantes et spécialement du toit, enfin la manière, tantôt à peu près régulière et uniforme, tantôt essentiellement variable et discontinue, dont la matière utile est distribuée dans l'étendue du gîte considéré.

Digitized by Google

# CHAPITRE XI

## DESCRIPTION DES PRINCIPALES MÉTHODES D'EXPLOITATION

(**267**) Étant donné ou un gîte, ou un système de gîtes parallèles à mettre en exploitation, la création d'un centre de production complet, se suffisant à lui-même, comporte d'abord, ainsi que nous l'avons exposé, l'exécution d'un ensemble de travaux souterrains communiquant au jour par deux orifices distincts et destinés à aller rejoindre ces gîtes en profondeur, et, en outre, l'installation de moyens mécaniques propres à assurer l'extraction et tous les services annexes, tels que ceux de l'épuisement, de la ventilation, etc.

Un périmètre plus ou moins étendu, en rapport avec l'importance donnée aux travaux et installations ci-dessus, ainsi qu'avec le chiffre de l'extraction projetée, est affecté à ce centre de production, et constitue ce qu'on appelle son *champ d'exploitation*, qui est d'ailleurs indéterminé dans le sens vertical, et qui se subdivise en autant de champs d'exploitation partiels qu'il y a de gîtes distincts dans le périmètre.

A ces travaux de *premier établissement* succèdent les *travaux préparatoires* établis à divers niveaux, qui subdivisent le champ d'exploitation en un certain nombre d'*étages* superposés, lesquels sont successivement préparés, puis tracés et exploités dans un certain ordre, habituellement *dans l'ordre descendant*.

La marche ci-dessus s'applique, dans tous les cas, une mine ne différant, en principe, d'une autre mine, sous ce rapport, que par

Digitized by Google

l'étendue en plan des champs d'exploitation et par la hauteur verticale des étages.

C'est seulement lorsqu'on en vient aux travaux productifs à faire dans un étage, *et non auparavant*, que se pose la question de la *méthode d'exploitation* à adopter, c'est-à-dire du mode suivant lequel on devra procéder à l'exécution de ces travaux, en ayant regard aux diverses circonstances de composition et d'allure que présente le gîte à exploiter.

Nous allons, en nous référant d'ailleurs aux observations générales exposées dans le chapitre précédent, décrire les méthodes applicables aux cas les plus importants qui peuvent se présenter dans la pratique.

Nous considérerons successivement les méthodes qui conviennent aux gîtes ayant une origine plus ou moins analogue à celle des filons, et celles qui conviennent plus particulièrement aux gisements en couches, ou d'origine purement ou principalement sédimentaire.

Ces méthodes, bien que basées sur les mêmes principes généraux, comportent, par suite de l'origine des gîtes auxquels on les applique, certaines variations de détail dans l'application de ce principe; variations qu'il convient de faire ressortir.

### § 1. — Méthodes d'exploitation applicables aux gîtes d'origine filonienne.

(**268**) Le trait le plus saillant de ces gîtes, qui résulte de la nature habituellement très-complexe de leur remplissage, est la présence, au milieu de la matière utile qui fait l'objet de l'exploitation, d'une quantité souvent prépondérante de matière stérile, ou gangue.

La majeure partie de la matière abattue n'a donc pas besoin d'être extraite, et il arrive souvent que, par suite du foisonnement dû à l'abattage, elle suffit, et au delà, pour remblayer tous les vides.

Les méthodes qu'on applique à ces gîtes rentrent donc habituellement dans la classe des méthodes par remblai.

Elles diffèrent d'ailleurs, selon la puissance que ces gîtes présentent.

Digitized by Google

Nous allons considérer quelques cas particuliers.

(**269**) Premier cas. **Méthodes d'exploitation applicables aux filons métalliques de faible puissance.** — Nous entendons par *faible puissance* une puissance qui n'est pas supérieure (sauf peut-être quelques renflements éventuels) à la largeur maxima d'une galerie de mine ordinaire, soit de 2 mètres à $2^m,50$.

La puissance des gîtes sera donc variable entre zéro, dans les étranglements, et 2 mètres à $2^m,50$, dans les parties les plus puissantes.

Un filon est caractérisé, comme nous l'avons vu au chapitre Ier, par une inclinaison assez grande, habituellement plus rapprochée de la verticale que de l'horizontale; par la présence, ainsi qu'on vient encore de le répéter, de matières stériles, ordinairement suffisantes, et quelquefois plus que suffisantes pour assurer le remblai complet des vides que produit l'abattage; par des épontes et un remplissage généralement solides; enfin, par l'irrégularité et la discontinuité de la matière utile accompagnant les matières stériles.

Pour exploiter un tel gîte, on aura soit un puits vertical, duquel partiront, à des distances ordinairement comprises entre 15 mètres et 20, 25, 30 mètres au plus, des galeries à travers bancs allant recouper le gîte, soit un puits incliné, servant directement à reconnaître le gîte en profondeur, à mesure qu'on en continue le fonçage.

On partagera le gîte par une série de galeries d'allongement tracées aux divers niveaux, et par des séries de cheminées allant d'une galerie à l'autre, en massifs rectangulaires, ayant de 15 à 30 mètres de hauteur et 25, 30, 40, 50 mètres et plus, suivant la direction.

L'objet de ces traçages est, à la fois, de commencer à exploiter le gîte, et de reconnaître ses allures, notamment sa richesse, en différents points.

On donnera donc à ces massifs des dimensions d'autant plus faibles en hauteur, et surtout en direction, que les zones riches seront réparties d'une manière plus morcelée et plus irrégulière dans le plan du gîte.

Ce traçage, représenté figure 204, se poursuit à un étage donné jusqu'à la limite assignée au champ d'exploitation du puits, ou

Digitized by Google

jusqu'à la limite du gîte lui-même. En profondeur on s'étend indéfiniment, établissant de nouvelles galeries d'allongement, à mesure qu'on atteint le gîte par de nouveaux travers bancs, et de nouvelles cheminées, à mesure que les galeries d'allongement se développent sur la direction du gîte.

Ces cheminées s'établissent de préférence, sans s'astreindre à les placer à des distances constantes, sur les points qui semblent les plus riches; de manière à avoir quelque production par le traçage même, et à bien étudier les diverses colonnes métalliques.

Le traçage laisse ainsi subsister un certain nombre de massifs, ou piliers rectangulaires, reconnus sur leurs quatre faces par les deux galeries d'allongement et les deux cheminées qui circonscrivent chacun d'eux.

La partie principale de l'exploitation consiste à enlever ceux de ces massifs qu'on juge exploitables, sans s'astreindre d'ailleurs à aucun ordre déterminé, et en se guidant principalement par la condition soit de régulariser la production, soit, au contraire, de la proportionner, autant que faire se peut, aux besoins variables de la consommation.

Une mine en bonne situation doit avoir toujours assez de massifs tracés à l'avance et tenus en réserve, pour assurer plusieurs mois, plusieurs années même d'exploitation.

C'est dans la manière de procéder à l'enlèvement d'un de ces massifs que réside la différence entre les deux méthodes d'exploitation applicables aux filons, nommées, l'une, la méthode par *gradins renversés*, l'autre, la méthode par *gradins droits*.

**(270)** La méthode par *gradins renversés* consiste à commencer l'enlèvement d'un massif par un de ses *angles inférieurs*.

Se plaçant à cet angle, dans la cheminée qui limite le massif, on ouvre une taille horizontale de $1^m,30$, $1^m,50$ ou 2 mètres de hauteur, en surhaussant d'autant le faîte de la galerie inférieure. Le minerai abattu tombe sur le sol ; on trie les minerais, et on relève les matières stériles sur un plancher solide, ou sur une voûte, qu'on établit à la hauteur qu'occupait le faîte de la galerie.

Quand cette première taille est avancée de quelques mètres, on

Digitized by Google

en ouvre une seconde, en partant encore de la cheminée, immédiatement au-dessus de la première.

Les matières abattues tombent sur les remblais de celle-ci. Les matières stériles y restent; les minerais sont descendus au niveau de la première taille, et jetés dans la voie de fond inférieure.

Bientôt après on ouvre une troisième taille au-dessus de la seconde, et ainsi de suite.

Le massif se trouve ainsi enlevé par une série de tailles superposées, parallèles à la direction.

A un moment donné, l'ouvrage présente une série de chantiers en retraite les uns sur les autres, qui figurent comme les marches d'un escalier vu par-dessous, d'où le nom de gradins renversés donné à l'ensemble des chantiers. En arrière de ces chantiers, les remblais figurent, au contraire, comme une sorte d'escalier dont les marches, plus ou moins nettement accusées, seraient vues par-dessus. Le minerai abattu dans un chantier quelconque descend sur les gradins de remblais jusqu'au chantier inférieur, d'où il est jeté dans la voie inférieure qui sert au roulage.

Un chantier est terminé, lorsqu'il vient percer à la cheminée qui limite le massif; l'exploitation du massif entier se termine avec celle du chantier le plus élevé.

Le massif du gîte se trouve alors remplacé par un massif égal de remblais, réservant, autant qu'il est nécessaire, les quatre galeries qui le circonscrivainet.

La galerie de niveau inférieure a pour faîte le plancher ou la voûte qui porte les remblais; la galerie supérieure a pour sole le dessus de ces mêmes remblais : les cheminées latérales sont maintenues ouvertes par des buttes et des garnissages, qui limitent le front des remblais, suivant la ligne même qu'occupait la paroi de la cheminée que l'abattage a fait disparaître.

Le travail, tel que nous venons de le décrire, comporte habituellement une légère variante, qui ne modifie pas le principe de la méthode, mais qui facilite beaucoup le transport du minerai jusqu'à la voie de fond. Cette variante, représentée figure 205, en A, consiste à ménager, de distance en distance, au milieu des remblais, des cheminées qui viennent déboucher dans la voie de fond infé-

Digitized by Google

rieure, et qui se prolongent successivement, par le haut, d'une quantité égale à la hauteur d'un gradin de remblai, chaque fois qu'un chantier nouveau vient à les dépasser.

Ces cheminées sont placées à des distances telles que les ouvriers n'ont pas à monter ou descendre de plus d'un ou deux gradins, pour en trouver une dans laquelle ils peuvent venir jeter leurs minerais. Quelquefois ces minerais tombent immédiatement dans la galerie d'allongement inférieure; d'autres fois, et plus souvent, la cheminée est entretenue à peu près pleine, et elle est fermée par le bas à l'aide d'une trappe, que les rouleurs viennent ouvrir pour remplir leurs wagonnets ou leurs brouettes.

(**271**) La méthode *par gradins droits*, représentée sur la même figure 205, en B, procède, en commençant l'abattage d'un massif par un des *angles supérieurs*.

La première taille attaque la sole de la galerie supérieure sur une hauteur de 1 mètre à $1^m,50$. La seconde taille, en retraite sur la première, attaque la sole de celle-ci sur une égale hauteur, et ainsi de suite.

Les remblais provenant du triage des tailles sont relevés sur des planchers spéciaux, qu'on établit en arrière, en nombre égal, ou à peu près égal à celui des chantiers.

On voit que l'ouvrage étant supposé en activité, le front du chantier figure les marches d'un escalier vu par-dessus, et que les remblais posés sur les divers planchers offrent, dans leur ensemble, l'aspect d'un escalier vu par-dessous. C'est donc la disposition inverse de celle des gradins renversés.

Quelques voies horizontales, réservées au milieu des remblais, servent à conduire le minerai à la cheminée, d'où, suivant les cas, il est jeté dans la galerie d'allongement inférieure, ou élevé par un treuil à la galerie d'allongement supérieure.

(**272**) Une variante commune aux deux méthodes, représentée figure 206, en A et B, consiste à commencer un ouvrage à gradins en un point donné d'une galerie, sans avoir au préalable exécuté une cheminée sur ce point. On commence cette cheminée *en mon-*

Digitized by Google

*tant* pour un ouvrage à gradins renversés, *en descendant* pour un ouvrage à gradins droits, et chaque fois que la cheminée a été avancée de la hauteur d'une taille, on ouvre deux nouveaux chantiers à droite et à gauche.

L'ouvrage à gradins se développe ainsi des deux côtés, à partir de la cheminée centrale, formant deux ailes qui figurent comme une sorte d'éventail renversé dans le cas d'un *ouvrage montant*, ou d'éventail vu dans sa position ordinaire dans le cas d'un *ouvrage descendant*.

(**273**) Les deux méthodes ci-dessus sont, sauf quelques variantes de détail qui ne changent rien aux principes, *universellement adoptées*.

On reconnaît, en effet, qu'elles remplissent d'une manière satisfaisante les conditions générales d'une bonne méthode d'exploitation.

D'abord, elles rentrent dans la classe des exploitations par remblais, permettant un enlèvement bien complet de toute la masse du gîte.

L'abattage y est facile à cause de la disposition en gradins; le remblai s'y fait économiquement avec des matières prises sur place; les frais de roulage et d'extraction ne portent que sur des matières utilisables; l'enlèvement d'un massif peut être mené très-rapidement en y appliquant un assez grand nombre d'ouvriers faciles à surveiller; on peut ne laisser subsister, autour du massif exploité, que les cheminées et galeries nécessaires pour le roulage ou pour le courant d'air. Enfin, les travaux préparatoires, ceux de traçage et ceux d'enlèvement des massifs, peuvent se poursuivre incessamment, dans des conditions d'activité qu'on est maître de varier à volonté pour chacun d'eux; de manière à régler et à assurer la production, autant du moins que le comporte la richesse du gîte.

(**274**) Malgré ces avantages *communs aux deux méthodes*, le choix à faire entre elles n'est pas indifférent, et il est essentiel de distinguer nettement les propriétés spéciales à chacune d'elles.

*Au point de vue de la dépense de bois*, la différence est impor-

Digitized by Google

tante, et elle est à l'avantage des gradins renversés, qui ne demandent qu'un seul plancher pour l'enlèvement entier d'un massif, tandis qu'avec les gradins droits, il en faut autant, ou presque autant que de gradins. L'avantage est d'autant plus marqué que les bois sont plus chers, et que les filons sont plus puissants et ont des épontes moins solides, puisque avec ces trois circonstances augmente très-rapidement la dépense de boisage qui correspond à l'établissement d'un seul plancher, et, à plus forte raison, celle qui correspond à l'enlèvement de tout un massif en gradins droits.

Cet accroissement de dépense est tel, qu'on ne songerait certainement pas à exploiter en gradins droits, même dans une mine où la méthode serait d'ailleurs appliquée, tout quartier dans lequel le filon présenterait un renflement dépassant la limite de 2 mètres à $2^m,50$, indiquée plus haut.

Au contraire, les gradins renversés sont applicables à ces renflements, sous la seule condition que les parties puissantes soient, en même temps, assez solides pour qu'on puisse mener le front des tailles sur toute la largeur du gîte. En d'autres termes, avec les gradins droits, la puissance du gîte a *une limite absolue*, qui sera par exemple $2^m,50$; avec les gradins renversés, elle n'a qu'une *limite relative à la solidité du gîte*. Cette puissance sera de 10 mètres par exemple, à la condition *nécessaire et suffisante* que le gîte soit assez solide pour qu'on puisse y mener des chantiers en direction, ayant un front de 10 mètres de largeur. Cela ne veut pas dire qu'on donnera au plancher inférieur une largeur de 10 mètres, ce qui en ferait un véritable ouvrage de charpente ; mais on remblayera à niveau sur le côté, ou sur les côtés, en ne laissant qu'une galerie de largeur ordinaire, appuyée au mur du gîte, ou même ménagée au milieu des remblais ; galerie dont les chapeaux supporteront les remblais des gradins supérieurs, et à laquelle aboutiront des cheminées verticales où l'on versera les minerais de ces gradins. Ce système est représenté en coupe sur la figure 207.

*Aux points de vue de la facilité de l'abattage, de la mise en place des remblais et du transport du minerai jusqu'à la voie de roulage*, on attribue un certain avantage aux gradins renversés sur les gradins droits.



Digitized by Google

On les considère aussi comme offrant plus de sécurité pour les ouvriers, si les épontes sont mauvaises et ne permettent pas de donner toute la solidité désirable aux divers planchers portant les remblais.

(**275**) On remarquera que toutes les indications ci-dessus sont à l'avantage des gradins renversés.

C'est, en effet, la méthode qui prévaut dans l'immense majorité des cas.

Deux circonstances seulement peuvent motiver l'application de la méthode par gradins droits : la première serait le peu de consistance du remplissage, comme lorsqu'on a ce qu'on appelle *un filon pourri ;* la seconde serait la présence dans le filon de minerais de haute valeur, tels que les minerais d'argent, surtout si ces minerais sont tendres et friables, comme l'argent rouge par exemple.

La condition d'avoir un remplissage d'une certaine consistance, dans un ouvrage à gradins renversés, s'explique d'elle-même par une considération de sécurité pour les ouvriers.

La convenance d'exploiter en gradins droits les minerais de haute valeur résulte de la manière différente dont l'abattage de la masse et dont la mise en place des remblais se font dans les deux méthodes.

Ce point demande quelques développements.

Avec les gradins renversés, la matière abattue tombe sur un sol formé par les remblais du gradin inférieur, dans les interstices desquels peuvent s'engager les poussières et les petits morceaux, qui seront dès lors définitivement perdus, puisque ces remblais ne sont pas destinés à être remaniés. Les morceaux eux-même peuvent être laissés sur le point où ils sont tombés, sans être suffisamment examinés et triés par des ouvriers négligents.

Au contraire, avec les gradins droits, la matière abattue repose sur la masse intacte du gîte ; l'avancement du chantier ne peut continuer sans que toute cette matière n'ait passé par les mains de l'ouvrier. Aucun morceau ne peut donc échapper à son attention, et il faudrait qu'il y eût *un parti pris* de négligence ou de mauvaise volonté, de sa part, pour qu'il mît au remblai un morceau qui devrait

Digitized by Google

être considéré comme du minerai, ou qui pourrait en donner par un cassage convenable.

C'est là la différence *essentielle et caractéristique*, entre les deux méthodes d'exploitation que nous comparons.

On étendra donc le champ d'application des gradins renversés, en prenant toutes les précautions pour atténuer leur infériorité à ce point de vue.

A cet effet, on devra établir, comme règles importantes, que les mineurs, avant de faire la tombée, régalent avec soin la surface des remblais sur lesquels la chute va se faire ; qu'ils recouvrent même cette surface avec quelques planches pour prévenir tout tamisage ; qu'ils soient astreints à relever toute la matière abattue, à la trier avec soin à la main et au marteau, et à empiler régulièrement les matières stériles, de manière que les remblais figurent, en arrière des tailles, des gradins nettement accusés.

Lorsqu'on ne tient pas la main à ce que toutes ces conditions soient exactement remplies, lorsqu'en arrière des gradins, par exemple, on permet que l'ensemble des remblais forme une masse irrégulièrement entassée, terminée par un talus plus ou moins rectiligne et à surface inégale, on peut être assuré qu'une *partie notable* de la matière utile se perd dans les remblais soit à l'état de fragments incomplétement triés, soit à l'état de menu tamisant dans la masse.

Cette dernière perte mérite d'autant plus d'être prise en considération que les minerais sont assez souvent, on peut presque dire habituellement, plus friables que les gangues.

Ces pertes au chantier peuvent avoir une extrême importance ; car toutes les dépenses de l'exploitation restent les mêmes, que ces pertes se produisent ou non.

Le supplément de produit qu'on obtient en prenant plus de soin dans le remblayage et dans le triage, en donnant à propos quelques coups de massette pour isoler un point riche dans un fragment stérile, etc..., ce supplément, dis-je, est en quelque sorte un *produit trouvé*. Il peut, dans un cas donné, constituer tout le bénéfice de l'exploitation.

Aussi est-il fort utile, lorsque les habitudes locales le permettent,

Digitized by Google

de rétribuer les ouvriers qui exploitent un massif, non au mètre d'avancement, mais à la quantité de minerai préparé, ou, mieux encore, à la quantité de métal contenu dans le minerai préparé.

C'est ce qui se pratique assez habituellement dans quelques parties de l'Angleterre, où les massifs à abattre sont mis en adjudication, à certaines époques, à des compagnies d'ouvriers qui en entreprennent l'exploitation à leurs risques et périls.

Cette pratique est assurément la cause principale de l'activité, de l'intelligence, de l'habileté supérieures que montrent les mineurs, dans les districts métalliques où elle est en usage.

Si l'on ne peut pas l'appliquer partout d'une manière complète, il convient au moins qu'il y ait dans le salaire de l'ouvrier, sous une forme ou sous une autre, une part qui augmente avec la quantité de matière utile obtenue. Nous croyons cela *indispensable*, attendu que les mesures indiquées plus haut demandent *un surcroît de peine* qui exigerait une surveillance incessante impossible à réaliser, et *qui ne se prendra pas*, si l'ouvrier n'y est pas intéressé.

**(276)** Deuxième cas. — **Exploitation des filons puissants et des amas.** — Nous supposons des gisements présentant les mêmes caractères généraux que les filons considérés dans le premier exemple, sauf que la puissance est supérieure à $2^m,50$, ou, plus exactement, supérieure *à la largeur que la solidité du gîte permet de donner aux chantiers.*

Nous avons vu que les gradins droits cessent d'être applicables, *dès que la puissance dépasse 2 mètres à* $2^m,50$, et que les gradins renversés cessent de l'être également, *dès que la solidité du remplissage n'est pas en rapport avec cette puissance, quelle qu'elle soit.*

Dans ce dernier cas, les galeries d'allongement ne peuvent être poussées que sur une partie de l'épaisseur du gîte. On les établit soit en pleine masse, soit appuyées au mur, ou même quelquefois au toit, si on les juge ainsi placées dans de meilleures conditions de solidité.

Le complément de l'épaisseur du gîte est pris ordinairement au moyen de chantiers transversaux allant du mur au toit ; d'où vient le nom de *méthode en travers*, donné à la méthode d'exploitation que l'on applique à ces gisements.

Digitized by Google

Considérée d'une manière générale, cette méthode consiste à subdiviser un étage compris entre deux galeries de niveau en une série de tranches superposées, ayant la hauteur ordinaire des galeries de mines, soit environ 2 mètres, et à prendre ces tranches dans l'ordre ascendant, par une série de chantiers auxquels on donne une largeur en rapport avec la solidité du gîte, et la direction la plus favorable à l'abattage.

Ces chantiers sont successivement remblayés et remplacés par d'autres que l'on remblaye à leur tour, jusqu'à ce que la tranche entière ait été enlevée dans toutes les parties exploitables et remplacée par un remblai continu.

On monte sur cette masse de remblai, en exhaussant le faîte de la galerie de niveau, et on exploite la seconde tranche comme la première, avec cette différence qu'on marche sur le remblai au lieu de marcher sur la masse du gîte.

Cette différence peut amener *un peu plus de facilité pour l'abattage*, en permettant de faire une sous-cave au bas de la masse à abattre, *un peu moins de facilité pour le soutènement*, par suite tant de la mobilité de la sole, que de l'ébranlement produit dans la masse à exploiter par son petit mouvement d'affaissement général sur les remblais.

De la deuxième tranche on passe à la troisième, et ainsi de suite jusqu'à la dernière tranche, que l'on prend sous les remblais de la première tranche de l'étage supérieur déjà exploité.

Si ces remblais sont anciens et ont eu le temps de se tasser, ils sont parfois presque aussi solides, quelquefois même plus solides que le gîte lui-même, et l'enlèvement de la tranche peut se faire immédiatement en dessous d'eux sans disposition particulière, ou, peut-être, en réduisant un peu la largeur des chantiers et prenant quelques précautions de plus dans le boisage.

D'autres fois on évitera de se mettre en contact direct avec ces remblais, et l'on s'en isolera par un estau d'un mètre, dont on essayera de reprendre une partie en battant en retraite, lorsqu'on sera arrivé à l'extrémité d'une taille.

Le transport se fait par la galerie de niveau inférieure qu'on a conservée au milieu des remblais, et par des cheminées aboutissant à

Digitized by Google

cette galerie, dans lesquelles on jette le minerai de la tranche en exploitation, comme dans la méthode en gradins renversés.

(**277**) Dans l'exploitation d'un véritable filon bien réglé, les galeries de traçage, qu'on nomme les *mères-galeries*, ou les *galeries maîtresses*, pourront être au mur du gîte, et reliées préalablement les unes aux autres par un petit nombre de cheminées montantes ayant pour objet principal d'assurer la ventilation.

L'enlèvement d'un étage se fera, par exemple, en prenant à partir de la mère galerie un premier système de galeries transversales de 2 mètres de largeur (fig. 208), laissant entre elles des piliers de 6 mètres, qu'on boisera selon les besoins et qu'on poussera jusqu'au toit. Elles seront ensuite remblayées complétement avec les matières stériles obtenues au triage, lorsqu'on battra en retraite du toit vers le mur, en déboisant dans la mesure que permettra la nature du terrain.

Le remblai sera terminé à la galerie d'allongement par un bon mur en pierres sèches, formé avec les meilleurs morceaux triés dans la masse du remblai.

Un second système de galeries semblables refendra les piliers par le milieu.

La moitié de la tranche se trouvera ainsi exploitée.

L'autre moitié sera prise par un troisième système de chantiers, dont les deux parois seront formées par des remblais du premier et du deuxième système.

Ces diverses catégories de chantiers sont distinguées par un numéro d'ordre sur la figure 208 précitée.

On passe ensuite à une seconde tranche.

Mais on n'a pas besoin que la première tranche soit prise dans toute l'étendue de l'étage, pour passer à la seconde. Il suffit que quelques tailles contiguës soient remblayées dans un quartier de la mine pour pouvoir monter de suite dans ce quartier à la tranche supérieure.

On peut avoir aussi 2 ou 3 tranches et même davantage, selon les besoins de la production, simultanément exploitées dans le même étage.

Digitized by Google

On peut même commencer un étage inférieur avant d'avoir achevé l'étage du dessus. Cependant il est assez opportun que cet achèvement ait lieu avant d'avoir donné un grand développement à l'étage du bas, afin que les mouvements successifs que prend la masse en s'affaissant de plus en plus sur les diverses tranches de remblai, et celui, plus considérable, qu'elle prend par suite du remblai généralement incomplet dont on se contente en dernière tranche, ne se fassent sentir que dans un étage déjà entièrement exploité.

En un mot, le principe de prendre les étages *dans l'ordre descendant* doit être respecté, en ce sens que l'exploitation de l'étage supérieur reste toujours *en avance* sur celle de l'étage inférieur.

Le même motif des affaissements successifs de la masse à exploiter sur les remblais des tranches exploitées limite le nombre des tranches à prendre dans l'ordre ascendant, c'est-à-dire *la hauteur verticale* des étages. Cet étage doit être d'autant moins haut que la masse du gîte supporte moins bien ces affaissements soit au point de vue de la solidité des galeries, soit à celui de la proportion de gros obtenu à l'abattage.

Une dizaine de tranches par étage, soit une hauteur verticale de 20 mètres, est un nombre qu'on ne dépassera pas en général.

(**278**) Les gros filons, auxquels s'applique la méthode en travers, présentent souvent des ramifications, par suite desquelles des masses puissantes de la roche encaissante se trouvent intercalées dans le gîte même ; de sorte que les traverses parties de la mère-galerie du mur rencontrent ces masses avant d'arriver au véritable toit du gîte. Il est inutile d'enlever la partie de ces masses comprises dans l'épaisseur de la tranche en exploitation ; on se borne donc à les repercer en quelques points, pour les reconnaître et pour aller toucher le vrai toit, et l'on établit deux systèmes de chantiers distincts, l'un dans la région du mur, l'autre dans la région du toit, ayant respectivement ces masses pour toit et pour mur. (Voir fig. 209.)

(**279**) La même méthode en travers s'applique également, lorsqu'au lieu d'un filon réglé, on a un amas plus ou moins irrégulier,

Digitized by Google

limité dans tous les sens en projection horizontale. (Fig. 210, plan et coupe.)

Dans un tel cas, l'axe de la galerie de niveau servant de base à un étage, au lieu de s'étendre indéfiniment en direction, est une courbe fermée, et la galerie prend le nom de *galerie de contour*. Son objet est, à la fois, de faire le traçage qui doit précéder l'ouverture des chantiers d'exploitation, et de reconnaître la forme et les dimensions de la section horizontale du gîte.

La galerie de contour tracée, on traversera le gîte par une galerie suivant sa plus grande longueur, ou par deux galeries à angle droit, le long desquelles on établira les divers chantiers qui serviront, en procédant, comme on l'a dit plus haut, à enlever progressivement toute la tranche et à la remplacer par des remblais.

Les diverses tranches se succéderont, comme on l'a dit, dans l'ordre ascendant. Les mêmes galeries serviront pour toutes les tranches, au moyen de cheminées verticales prolongées successivement au milieu des remblais, et aboutissant par le bas à ces galeries, par le haut à la tranche actuellement en exploitation.

**(280)** Troisième cas. — **Exploitation des filons puissants ou des amas ne contenant qu'une quantité insuffisante de remblais.** — Nous avons dit (n° 267) que les gisements d'une origine filonienne renferment *habituellement* une quantité de matière stérile *suffisante*, ou plus que suffisante, par suite du foisonnement résultant de l'abattage, pour remblayer tous les vides produits par les travaux ; qu'il était donc inutile de l'extraire; qu'il était même utile de ne pas l'extraire, pour ne pas augmenter les frais de roulage et d'extraction, et pour profiter des avantages divers que donne l'emploi des remblais, principalement au point de vue de l'extraction complète du gîte.

Cependant ce caractère *habituel* n'est pas un caractère *constant*, et l'on a des gîtes puissants dans lesquels les remblais font plus ou moins complétement défaut.

Ces gîtes sont principalement ceux qui ont été formés en une fois, par un véritable phénomène d'éruption, et qui sont remplis par une masse à peu près homogène, à l'inverse des filons ordinaires, ou filons concrétionnés, remplis, à diverses époques, par des cristallisa-

Digitized by Google

tions dues à des phénomènes successifs et distincts de sublimation ou de dissolution.

La structure des premiers est massive et homogène ; celle des seconds cristalline et hétérogène.

Lorsqu'on a ainsi un gîte fournissant peu ou point de remblai, parce que la matière exploitable y est pure, ou bien, au contraire, y est assez intimement mélangée avec les gangues, pour que le triage au chantier ne soit pas possible, l'exploitation peut encore se ramener au deuxième exemple considéré ci-dessus (n° 276), c'est-à dire à la méthode en travers.

Il suffit, pour cela, de suppléer à l'insuffisance ou à l'absence des remblais produits au chantier, en se les procurant d'une autre manière. Par cet artifice bien simple, la méthode en travers devient, en principe, applicable à *tous les gîtes en amas sans exception, quelle que soit la quantité de remblai fournie par le gîte.* On remblayera toujours complétement tous les vides, sauf les mères-galeries et peut-être les dernières tranches de chaque étage ; on sortira au jour une partie des matières stériles, *si le gîte en fournit un excès ;* on amènera, au contraire, le complément nécessaire, *si le gîte n'en fournit pas assez.*

Il n'y a rien à ajouter à ce qui a été dit plus haut sur les détails d'application de la méthode même. Nous parlerons plus loin des diverses manières dont on peut se procurer les remblais soit dans la mine, soit au jour.

(**281**) A côté des avantages qu'il procure, l'emploi des remblais a un inconvénient grave, lorsqu'on les prend en dehors du chantier, celui de la dépense qu'occasionnent l'extraction, le transport et la mise en place de ces remblais. Il peut se faire, surtout pour des minerais n'ayant qu'une valeur restreinte sur place, qu'on ne puisse pas s'en procurer à des conditions économiquement acceptables.

Dans ce cas, à la méthode *par remblais* on substituera une méthode *par dépilages.*

On pourra procéder de la manière suivante :

Le gîte étant toujours préparé en étages, on le subdivisera en tranches horizontales, comme dans la méthode en travers déjà

Digitized by Google

décrite ; mais ces tranches, au lieu d'avoir seulement la hauteur des galeries qu'on y pratiquera, auront, ou pourront avoir une hauteur plus grande, et, au lieu d'être prises dans l'ordre ascendant, elles seront prises dans l'ordre descendant, comme les étages eux-mêmes.

A la sole de chaque tranche, on fera un tracé quelconque, soit une mère-galerie au mur et un certain nombre de traverses allant du mur au toit, soit une division par piliers et galeries, au moyen de deux séries de galeries à angle droit.

L'objet principal de ce traçage est d'avoir des produits, avant d'en venir à la période principale de l'exploitation de la tranche, qui est la période du dépilage.

Le dépilage d'un quartier tracé se fera en battant en retraite et enlevant successivement les divers massifs, ou piliers, réservés d'abord. On commence par les prendre sur la même hauteur que les galeries ; puis on provoque l'éboulement de la partie supérieure de la tranche. On enlève ainsi ce que l'on peut de cette partie qu'on nomme l'estau. Son éboulement est bientôt suivi de l'éboulement des vieux travaux de la tranche du dessus déjà exploitée.

Une tranche s'enlève ainsi *à peu près complétement* sur les deux mètres de hauteur des galeries, et *plus ou moins incomplétement* sur la hauteur de l'estau, selon l'habileté des ouvriers et selon la manière dont l'éboulement des vieux travaux suit la tombée dans les chantiers de dépilage.

Un mouvement général d'affaissement accompagne nécessairement cette méthode ; il se manifeste, dès qu'il y a un certain nombre de tranches exploitées, par la production de fontis qui bouleversent entièrement la surface du sol.

Ce sont les conséquences de ce bouleversement, au point de vue des indemnités à payer aux propriétaires et à celui de l'introduction prématurée des eaux dans la mine, ainsi que les inconvénients d'une exploitation moins complète et d'un travail un peu moins sûr pour les ouvriers, qu'il faut mettre en balance avec la dépense qu'entraînera l'emploi des remblais.

On n'a pas besoin d'attendre qu'une tranchée soit terminée pour attaquer la tranche inférieure. On peut, au contraire, tracer une

Digitized by Google

deuxième tranche pendant qu'on dépile dans la première, et même commencer à en tracer une troisième, tandis qu'on achève le traçage de la seconde : mais on ne peut commencer à dépiler, dans une tranche quelconque, que sous des points déjà dépilés.

Ce système est représenté (fig. 211), en coupes longitudinale et transversale.

Quelques galeries diagonales, ou des cheminées, servent à amener les produits d'une taille quelconque au niveau de la voie de fond de l'étage. Ces cheminées doivent être fortement blindées à leur orifice supérieur, lorsque leur emplacement est envahi par le dépilage de la tranche en exploitation, afin de les retrouver ouvertes, lorsqu'on passera à la tranche inférieure.

(**282**) La deuxième méthode ci-dessus, qu'on peut appeler la *méthode en travers avec dépilages*, pour la distinguer de la première, qu'on nommerait la *méthode en travers avec remblais*, est appliquée avec diverses variantes qui dépendent principalement de la consistance du gîte exploité.

En principe, les galeries de traçage et les chantiers de dépilage seront d'autant plus larges que le gite sera plus consistant.

L'épaisseur de l'estau est déterminée par les circonstances locales.

L'abattage est d'autant plus économique que cette épaisseur est plus grande. Mais, en même temps, le travail peut être moins sûr pour l'ouvrier, et donner lieu à un plus grand gaspillage de la matière.

Comme exemples extrêmes, on peut citer, dans des gîtes très-consistants n'ayant aucun besoin de boisage, des tranches de 10 mètres, comprenant des galeries de la hauteur exceptionnelle de 6 à 7 mètres et des estaus de 4 à 5 mètres, et dans des gîtes, au contraire, d'une consistance marneuse ou argileuse, des tranches de 2 mètres à $2^{m},50$, ayant seulement la hauteur des galeries ; c'est-à-dire que l'estau est, dans ce dernier cas, réduit à zéro, comme n'offrant pas, à la couronne des galeries, plus de consistance que les éboulements provenant de la tranche supérieure, pour peu que ces éboulements aient eu le temps de se tasser.

On verra plus loin divers exemples de la manière dont peuvent

Digitized by Google

être conduits des dépilages, dans une tranche en exploitation, sous des vieux travaux éboulés, dont la sépare un estau plus ou moins épais.

(**283**) Enfin, dans le cas où le gîte, n'ayant pas des remblais et ne comportant pas leur introduction, on ne pourrait pas non plus dépiler, la méthode à employer consisterait, comme celle dont on vient de parler en dernier lieu, à décomposer chaque étage préparé en plusieurs tranches, à la sole desquelles on exécuterait un traçage séparé du traçage supérieur par un estau plein ; mais avec cette différence que ce traçage *constituerait toute l'exploitation de la tranche.*

Dans un travail de ce genre, on a soin de faire correspondre exactement en plan les pleins et les vides des diverses tranches, de manière à éviter les porte-à-faux; quelquefois en outre, on a soin, à mesure que l'on passe d'une tranche à la tranche inférieure, d'augmenter la section des piliers et l'épaisseur de l'estau, et de diminuer, au contraire, la largeur et la hauteur des galeries qui séparent ces piliers.

Ce système d'exploitation, dont la figure 212 donne une idée, peut se désigner sous le nom de *méthode en travers avec estaus*, pour la distinguer de la méthode en travers avec remblais, et de la méthode en travers avec dépilages. Il a été, autrefois, fort employé pour prendre les parties supérieures des gîtes puissants.

Il est arrivé plus d'une fois que, parvenu à une certaine profondeur, le désir de reprendre une partie de la richesse d'abord abandonnée dans les tranches a conduit à venir refendre les piles, ou les amincir, en même temps que les estaus, par l'élargissement et l'exhaussement des galeries, autant que cela paraissait compatible avec la sûreté de la mine; mais souvent la limite a été dépassée, et d'énormes effondrements ont été la conséquence de ces travaux imprévoyants.

Aujourd'hui cette méthode peut être regardée somme surannée, et applicable seulement à des matières de très-peu de valeur, et assez abondantes dans la nature pour qu'on puisse accepter le gaspillage que comporte son application.

Nous croyons que *ce n'est le cas d'aucun gisement métallique.*

Digitized by Google

§ 2. — Méthodes d'exploitation applicable aux gîtes d'origine sédimentaire.

(**284**) Le caractère essentiel de ces gîtes désignés, ainsi que nous l'avons dit, sous le nom de couches, est la nature simple et la répartition uniforme de la matière qui fait l'objet de l'exploitation; de sorte qu'en général, un étage à exploiter n'a pas besoin d'un traçage préalable, en vue d'étudier la manière dont la richesse peut s'y trouver distribuée.

Nous prendrons pour type de ce genre de gisement les couches de houille, qui sont les gisements les plus importants à considérer, et nous les diviserons en quatre classes, en tenant compte soit de leur puissance, soit à la fois de leur puissance et de leur inclinaison.

(**285**) Premier cas. — **Exploitation des couches des houilles minces.** — Nous désignerons sous le nom de *couches minces* les couches de houille d'une épaisseur inférieure à la hauteur minima qu'il soit possible de donner aux chantiers d'abattage, ou, tout au moins, très-inférieure à celle des galeries de roulage desservant ces chantiers. Cette épaisseur peut varier depuis $0^m,27$ à $0^m,30$ (limite au-dessous de laquelle, à notre connaissance, on n'est jamais descendu pour la houille) jusqu'à $0^m,70$ à $0^m,80$, ou un peu au delà.

Cette insuffisance d'épaisseur oblige d'entamer ou le toit, ou le mur, soit de toutes les tailles, soit au moins des galeries qui les desservent. Cet entaillement produit une certaine quantité de matière stérile, qui, réunie aux nerfs de la couche, s'il en existe, fournit une masse suffisante pour que l'emploi du remblai forme un trait saillant de l'exploitation du gîte.

Nous rapporterons à cette même classe les couches qui, assez puissantes pour qu'on n'ait pas besoin d'entailler le toit ou le mur pour faire de la place aux piqueurs, sont exploitées avec les remblais provenant principalement des nerfs de la couche, ou de la chute d'un faux toit, ou du coupage des voies, ou enfin, au besoin, pris en dehors du chantier.

Digitized by Google

Le type du système applicable à ces couches est la méthode d'exploitation par *longues tailles*, ou par *grandes tailles*.

Cette méthode, qui est représentée en plan, figure 213, consiste, à partir du point où les travaux préparatoires ont atteint la couche, à mener une voie de fond horizontale, ou si la couche est elle-même presque horizontale, une voie dans une orientation quelconque. Cette voie maîtresse s'établit en poussant un chantier sur une largeur assez grande pour qu'on puisse loger sur le côté tous les remblais résultant de l'entaillement de la voie de roulage et du retour d'air.

Ces deux voies sont situées sur les deux côtés de la taille, ou bien la voie de roulage est au milieu du remblai, et le retour d'air vers la paroi d'amont du chantier.

A mesure que le chantier est avancé d'une quantité suffisante, on prend un front de taille le long du retour d'air, et on pousse ce front en ligne droite dans une direction déterminée ; lorsqu'un second avancement égal a été fait, on prend une seconde taille semblable à la première, et on la pousse dans une direction parallèle ; ultérieurement un troisième chantier succède au second, et ainsi de suite.

L'ensemble de ces chantiers présente un front brisé, rappelant, sauf l'échelle, la disposition en gradins usitée dans l'exploitation des filons, pour l'enlèvement d'un massif ; d'où le nom de *gradins couchés*, que l'on donne aussi à cet ouvrage.

Chacune des tailles présente, à droite et à gauche, une galerie assurant la circulation de l'air, qui entre par la voie de roulage et parcourt successivement les divers chantiers ; d'autres galeries, se ramifiant au milieu des remblais, desservent chaque taille, et aboutissent à un tronc commun qui conduit les charbons de cette taille à la voie principale de roulage, en traversant le massif de remblai qui, dans la voie maîtresse, sépare la galerie de roulage et le retour d'air.

Les matières stériles sont chaque jour rejetées en arrière, pour continuer le remblai dont le front marche à une petite distance en suivant le front des tailles. Les galeries sont maintenues au milieu de ce remblai, au moyen de murs en pierres sèches formés avec les morceaux.

Digitized by Google

L'ensemble des fronts s'avance ainsi jusqu'à la limite assignée à l'étage en exploitation; une taille arrivée à la limite est remplacée par une taille nouvelle, partant de la voie maîtresse qui a continué d'avancer.

On poursuit le même travail jusqu'à ce qu'on ait partout atteint la limite de l'étage, tant en direction qu'en inclinaison.

(**286**) Si l'on suppose la couche entièrement horizontale, ou avec une pente à peine sensible, la direction, tant de la galerie maîtresse que des tailles, reste entièrement arbitraire. On peut alors se déterminer par la condition de rendre l'abattage le plus facile possible; ce qui conduit à placer le front des tailles parallèle à la feuille du charbon, c'est-à-dire à faire avancer la voie maîtresse *parallèlement* et les tailles *perpendiculairement* au clivage.

S'il n'y a pas de clivage nettement déterminé, et si la pente de la couche se prononce un peu plus, on peut tracer les galeries maîtresses et les tailles suivant des lignes diagonales ou à *demi-pente*, intermédiaires entre la direction et l'inclinaison de la couche, et dont le tracé est déterminé par la condition de leur assurer une pente favorable au roulage.

Avec une inclinaison encore plus prononcée, de 15 à 20°, on doit renoncer à l'idée de donner des demi-pentes favorables à la fois à la même galerie et aux voies qui desservent les tailles; car la pente favorable au roulage se confond alors sensiblement avec la ligne de direction, et par suite la mère galerie et les voies des tailles devraient se couper sous un angle beaucoup trop aigu.

Dans ce cas, on peut employer deux systèmes, ou bien faire la mère galerie de niveau et pousser les tailles suivant la ligne de plus grande pente, c'est-à-dire avoir des *tailles montantes*, ou bien, au contraire, faire la mère galerie suivant la ligne de plus grande pente, et mener des *tailles chassantes*, c'est-à-dire ayant un front parallèle à l'inclinaison.

Le roulage se fait par traction ordinaire dans les voies de niveau, et au moyen de plans inclinés automoteurs dans les voies montantes.

Digitized by Google

(**287**) Le choix entre ces deux systèmes n'est nullement indifférent.

Au point de vue du transport, il vaut mieux que la galerie où circule la masse des charbons soit une voie à traction ordinaire, plutôt que de subordonner les deux services du roulage et de l'extraction aux éventualités de l'arrêt d'un grand plan incliné unique, qui desservirait une série de galeries en direction.

Les tailles montantes sont donc préférables, sous ce rapport, aux tailles chassantes.

Elles méritent encore la préférence pour l'entretien des galeries, en ce sens que s'il faut entailler le toit ou le mur (ce que nous supposons), une galerie suivant la ligne de plus grande pente se tient beaucoup mieux qu'une galerie en direction, parce que dans celle-ci les bancs découpés en pied par l'entaille, ainsi que les murs de remblai formant la paroi d'amont, tendent à l'obstruer, en cédant à l'action de la pesanteur.

Enfin, une galerie aboutissant à une taille montante dessert beaucoup plus facilement les divers points de cette taille que celle qui aboutit à une taille chassante ; le boutage des charbons y est plus facile, et moins gênant pour les ouvriers travaillant à l'avancement.

On préférera donc habituellement les tailles montantes.

(**288**) Les dimensions qu'on donne à ces tailles sont des plus variables.

En général, la largeur *minima* est déterminée, comme nous l'avons dit au n° 285 pour la galerie maîtresse, par la condition de pouvoir loger dans la taille tous les remblais qui se produisent au chantier par l'abattage des nerfs et du faux toit, ou par l'entaillement du toit ou du mur nécessaire pour les besoins de la circulation et de l'aérage.

Quant à la largeur *maxima*, elle peut être extrêmement considérable. En Angleterre, on donne 100 mètres, 150 mètres et plus, avec des couches *presque horizontales*, fournissant un charbon solide et ayant un très-bon toit. De semblables largeurs sont très-favorables à la surveillance. Elles facilitent singulièrement l'abattage soit à bras, soit, comme on commence à le faire beaucoup, à l'aide de machines

Digitized by Google

haveuses. Elles sont favorables au chargement, parce qu'elles sont assez importantes pour recevoir une voie longitudinale, qui met les wagonnets à portée des chargeurs et supprime le boutage, et qu'on ripe tous les jours d'une quantité égale à l'avancement fait par les mineurs.

Mais ces grandes largeurs ne seraient pas facilement applicables avec des couches très-minces, friables et à toit éboulcux, surtout si ces couches avaient une inclinaison notable. Cette dernière circonstance rendrait, en effet, l'entretien et le service difficiles, dans le réseau de galeries partant d'un tronc commun qui devrait aboutir sur un certain nombre de points d'un aussi large front, pour faciliter le boutage du charbon.

Depuis cette limite supérieure de 100 à 150 mètres et plus, jusqu'à une limite inférieure de 6 à 8 mètres, on peut rencontrer toute espèce de dimension intermédiaire, *justifiée par les conditions locales.*

Un système assez convenable et qu'on rencontre souvent, est un ensemble de tailles montantes de 14 à 16 mètres de largeur, desservies chacune par un petit plan automoteur, dont on remonte, tous les deux ou trois jours, le mécanisme d'une quantité égale à l'avancement du front de taille.

(**289**) Des dispositions peuvent être prises, soit dans le système des tailles chassantes, soit dans celui des tailles montantes, pour limiter, à mesure qu'augmente l'étendue des travaux d'une couche, la longueur des galeries à l'état d'entretien.

L'artifice est analogue à celui qui a été indiqué au n° 257, pour diminuer, dans un ensemble de gîtes parallèles, la longueur entretenue des galeries d'allongement d'un étage.

Étant donné, par exemple (*fig.* 214), une série de voies montantes qui se prolongent très-loin en partant d'une même galerie d'allongement, ou costeresse, on tracera, à une certaine hauteur, une seconde galerie dite *galerie de recoupage;* et l'on pourra, par là même, supprimer toute la partie des voies montantes comprise entre la costeresse et la galerie de recoupage, à l'exception d'une seule, ou, au plus, de deux ou trois de ces voies, qui recevront un bon



Digitized by Google

système de plans automoteurs, par lesquels on descendra *au niveau inférieur* tous les charbons déjà descendus *des tailles au niveau supérieur*.

De même, si l'on a une série de tailles chassantes déjà très-éloignées du plan automoteur qui les dessert, on pourra reporter en avant ce plan automoteur, et supprimer ainsi l'entretien de toutes les voies horizontales comprises entre la première et la nouvelle position du plan.

(**290**). Les tailles montantes cessent d'être applicables sur les pentes trop fortes, et l'on pourrait dire que leur limite théorique est celle pour laquelle les charbons abattus *glisseraient d'eux-mêmes sur le mur de la couche;* car alors l'abattage, surtout sur un large front, serait difficile et dangereux pour les ouvriers ; et la tendance des charbons à glisser sur le mur, pour aller se mêler aux remblais, rendrait le boutage des charbons peu commode.

Ces mêmes tailles montantes sont, en outre, d'un usage peu satisfaisant dans les couches où il se dégage du gaz, soit de la couche même, soit de la masse des remblais ; car le grisou, en vertu de sa légèreté spécifique, se portera de préférence sur les points les plus élevés, c'est-à-dire le long du front de taille, ou *sur le point même où est concentrée la masse principale des ouvriers.*

On emploie, dans ce cas, les tailles chassantes, qu'on ouvre successivement, à mesure qu'on monte la cheminée qui doit occuper toute la hauteur de l'étage. Ces tailles sont ainsi en retraite les unes par rapport aux autres, et le système d'exploitation prend, dans ce cas, le nom d'exploitation par gradins renversés ; il présente, en effet, la même disposition d'ensemble que l'ouvrage à gradins établi dans un filon pour enlever un massif reconnu exploitable. La différence entre le cas d'un filon et celui d'une couche est qu'ici la méthode s'applique *immédiatement à tout l'étage*, un traçage préalable étant, comme nous l'avons déjà dit, sans objet, à cause de l'uniformité de composition qui caractérise la couche, au lieu de l'irrégularité de richesse qui est, au contraire, pour un filon, l'état normal.

(**291**). On voit, par ce qui précède (nos 285 et 290), que le système d'exploitation des couches minces, envisagé d'une manière

Digitized by Google

générale, consiste à enlever la masse du gîte sans traçage préalable, en l'éloignant de plus en plus du puits, et en ménageant en arrière, au milieu des remblais, les voies nécessaires, de manière à arriver en même temps *à la limite d'un étage et à la fin de l'exploitation de cet étage.* On voit que ce système s'applique à toutes les couches, quelle que soit leur inclinaison, mais sous le bénéfice de ces remarques : que si les tailles peuvent être poussées *dans une direction quelconque* avec des couches horizontales ou extrêmement peu inclinées, elles pourront l'être *suivant des demi-pentes* pour une inclinaison un peu plus prononcée ; qu'elles seront très-convenablement *montantes* pour des inclinaisons plus prononcées, suffisantes à l'établissement de plans inclinés automoteurs ; enfin qu'elles devront être *chassantes* pour toute inclinaison supérieure à celle du talus naturel des charbons.

(**292**). Le système des tailles chassantes a un autre avantage, approprié au cas fréquent d'une inclinaison de la couche toujours prononcée, mais cependant variable suivant la ligne de direction.

Ayant, en effet, établi, à l'origine du travail, sur la hauteur verticale donnée d'un étage, un certain nombre de tailles, dont chacune est desservie par une voie de niveau parallèle à la voie de fond, il n'y a rien de changé à l'ensemble de l'ouvrage à mesure que la pente varie, sinon *la longueur des fronts de taille*, qui *augmente* ou *diminue*, à mesure que la pente de la couche *diminue* ou *augmente*. C'est ainsi, par exemple, qu'on passera naturellement d'un dressant dans un plat, ou inversement, à mesure que le crochon correspondant viendra, par suite de son ennoyage, à être rencontré successivement par les diverses galeries de niveau.

(**293**). Les tailles chassantes ont, comme on l'a déjà dit, un inconvénient résultant de ce que la galerie qui dessert une de ces tailles est naturellement placée à la partie inférieure, afin de n'avoir pas à remonter les charbons pour les charger dans les wagonnets : c'est que le boutage des charbons le long de la taille est incommode, et peut même devenir dangereux dans les couches verticales ou très-rapprochées de la verticale. Dans ce cas, en effet, les ouvriers, au lieu d'être portés par le mur de la couche, sont montés

Digitized by Google

les uns au-dessus des autres sur des planchers qui reçoivent le charbon abattu, jusqu'au moment où on le fait tomber de plancher en plancher jusqu'au bas de la taille.

On évite l'incommodité et les dangers qui résultent de cette disposition, en substituant à *un petit nombre* de tailles droites, prenant la hauteur de l'étage, *un plus grand nombre* de gradins, analogues pour la hauteur aux gradins employés dans l'exploitation des filons, c'est-à-dire n'ayant pas plus de deux mètres de hauteur, et dont chacun n'occupe qu'un seul piqueur.

La disposition est alors tout à fait semblable, même pour les dimensions des tailles, à celle de l'ouvrage à gradins renversés établi dans un filon.

La houille abattue est également jetée dans des cheminées qui aboutissent aux voies horizontales ménagées au milieu des remblais. Celles-ci aboutissent elles-mêmes au plan incliné qui les relie à la voie de fond.

Cette disposition a reçu le nom particulier de maintenage. Elle est représentée figure 215. Cette figure doit être rapprochée de la figure 151 qui représente une taille droite.

En arrivant à un dressant, on peut donc le prendre soit par des *tailles droites* qui correspondent chacune à une des tailles couchées qu'on avait dans la plateur, soit par un maintenage, qui consiste à remplacer chaque taille droite par une série de gradins plaçant les ouvriers en retraite les uns par rapport aux autres. On aurait eu par exemple 5 ou 6 tailles droites ; on aura 20 ou 25 gradins et plus.

Le maintenage doit être considéré, par les raisons indiquées, comme préférable, en général, aux tailles droites. Peut-être n'est-il qu'une circonstance qui puisse faire préférer, ou même parfois qui puisse nécessiter les tailles droites : c'est lorsque le courant d'air n'est pas assez actif, et que la mine donne beaucoup de gaz ; ce gaz peut être alors difficile à déloger des angles nombreux que présente le maintenage, tandis qu'il est plus facilement balayé le long d'une taille droite, grâce à sa force ascensionnelle.

**(294)**. Nous avons supposé jusqu'ici que, dans le cas des tailles

Digitized by Google

chassantes, les galeries de niveau desservant chaque taille aboutissaient à un plan automoteur, qui les amenait à la voie de niveau principale (voie de fond ou voie costeresse).

Très-souvent, en réalité, ce plan automoteur n'existe pas, et les galeries de niveau sont rattachées à la voie de fond par des voies inclinées, dites des demi-pentes ou des diagonales, dont l'inclinaison est réglée de manière que les rouleurs puissent descendre les wagons pleins en les calant, et les remonter à vide.

Cette disposition, représentée figure 215, qui doit être regardée comme *nécessaire*, quand la pente de la courbe est assez faible pour ne pas permettre l'emploi d'un plan incliné automoteur, est habituellement conservée, même quand cet emploi est possible.

Peut-être ferait-on bien, comme du reste on commence à le pratiquer, de recourir plus souvent au système des plans automoteurs. Un tel plan s'établit, suivant la plus grande pente, avec une galerie beaucoup plus courte et demandant moins d'entretien, même à longueur égale, qu'une demi-pente (voir n° 287); la manœuvre d'un frein est plus facile et plus prompte pour le rouleur que la descente et la remonte, également pénibles, sur la longueur de la demi-pente rachetant la même différence de niveau.

Je pense donc que ce système, sur lequel nous reviendrons en parlant du roulage, est appelé à se répandre plus qu'il ne l'est aujourd'hui. Il me paraît évident que s'il était *partout praticable*, il serait *toujours pratiqué*, et que s'il l'est au contraire très-peu, c'est par une extension peu justifiée du système des demi-pentes, qui est assez souvent le seul moyen dont l'inclinaison de la couche permette de faire usage.

Quoiqu'il en soit on doit remarquer que le système ordinaire des demi-pentes comporte, dans l'entretien des galeries, la simplification indiquée au n° 289 (fig. 214) pour les voies montantes.

Une nouvelle galerie diagonale desservant toutes les tailles supprime toutes les voies de niveau (sauf la voie de fond et le retour d'air) comprises entre cette diagonale et la précédente. (Voir fig. 216.)

(**295**) Deuxième cas. — **Exploitation des couches de houille de**

Digitized by Google

**puissance moyenne.** — Je range dans les couches d'épaisseur moyenne, celles qui ont *à peu près* en puissance la hauteur que l'on donne habituellement aux galeries de mines.

Il doit être entendu que la couche même, ou le faux toit qu'elle peut avoir ne fournit que peu ou point de remblai, et que l'entaillement du toit ou du mur, là où il peut être accidentellement nécessaire, n'en produit lui-même qu'en quantité tout à fait insuffisante, pour que l'emploi de ce remblai puisse former *un trait notable* de la méthode d'exploitation employée.

Il doit être entendu, d'un autre côté, si l'épaisseur de la couche est supérieure à la hauteur des galeries, qu'il ne reste cependant en couronne qu'une faible épaisseur de charbon.

L'épaisseur pourra être, en définitive, comprise entre *un peu moins d'un mètre et un peu plus de* $2^m,50$.

(**296**) On peut dire d'abord, d'une manière générale, qu'aux couches ci-dessus définies on peut appliquer *les mêmes méthodes* qu'aux couches minces, au moyen de l'artifice connu consistant à suppléer à l'insuffisance des remblais que produisent l'abattage aux tailles et le coupage des voies, soit en laissant des vides convenablement disposés en arrière des tailles, soit en prenant sur d'autres points l'appoint en remblais qui peut être nécessaire.

Cette observation n'est pas une simple conception théorique. Elle est, au contraire, essentiellement pratique, et d'une application fréquente.

Ainsi, dans beaucoup de districts de l'Angleterre, on cherche à étendre l'emploi des grandes tailles à des couches de 1 mètre à $1^m,30$ et plus, où les matériaux sont tout à fait insuffisants à un remblai complet. Ces matériaux sont alors empilés principalement le long des voies de roulage ou d'aérage à conserver; dans l'intervalle il reste de grands espaces vides qui se soutiennent si le toit est très-bon, qui s'éboulent dans le cas contraire, et dont même, au besoin, on provoque l'éboulement, afin de les utiliser comme carrières à remblais, en cas d'insuffisance trop marquée de ceux qu'on se procure à l'avancement des tailles.

On réalise par là les avantages de surveillance facile et d'abat-

Digitized by Google

tage économique propres à l'emploi des grandes tailles, en réduisant au strict nécessaire la dépense des remblais.

Ce système est donc parfaitement indiqué dans les conditions d'allure où on l'applique ; c'est-à-dire pour des couches peu puissantes, fournissant peu de remblais, à peu près horizontales, ayant un bon toit et un charbon bien résistant.

On pourra d'ailleurs toujours, quelques conditions d'allure que l'on rencontre, appliquer *identiquement* la même méthode que pour les couches minces, en remblayant complétement.

Ainsi les grandes tailles, les tailles montantes ou chassantes, les gradins renversés et leurs variétés de tailles droites ou de maintenages, *s'appliquent aux couches moyennes*, lorsqu'on les remblaye d'une manière suffisante.

Ces dispositions ont leurs avantages propres, qui sont, on l'a déjà dit, l'enlèvement bien complet du charbon, et la facilité de ménager les couches supérieures et la surface du sol.

Elles ont, par contre, leur inconvénient, parfois très-grave et qui peut même exclure l'emploi du système, c'est l'augmentation du prix de revient résultant de l'emploi des remblais.

(**297**) En fait, la méthode propre aux couches de moyenne épaisseur, celle qui donne assurément la majeure partie du charbon qui se produit dans le monde, est une méthode sans remblais et *par dépilages*.

Envisagée d'une manière générale, elle consiste à faire d'abord un traçage par deux séries de galeries se coupant sous un angle quelconque et laissant entre elles des massifs ; puis lorsque ce traçage est terminé dans un quartier donné, on *dépile*, ou l'on *déhouille*, en battant en retraite et laissant les éboulements se faire en arrière.

L'exploitation du quartier est terminée, lorsqu'en battant ainsi en retraite, on est revenu au point où le traçage du quartier avait été commencé.

Ce système est très-simple à concevoir et à décrire ; mais il peut être *bien* ou *mal* appliqué ; il importe d'en bien comprendre les vrais principes, et d'entrer dans quelques détails d'application.

Digitized by Google

Beaucoup de personnes considèrent que la période du traçage appartient véritablement à l'exploitation.

Ils font en conséquence un réseau développé de galeries ; ils donnent à ces galeries une grande largeur pour faciliter l'abattage, et ils laissent des piliers carrés ou rectangulaires aussi étroits que possible.

Ils s'étendent de cette manière, en direction et en amont pendage, jusqu'à la limite de l'étage en exploitation. C'est seulement quand ils sont parvenus à cette limite qu'ils dépilent à partir de l'extrémité des travaux, en battant en retraite vers le puits.

Le système ainsi compris a deux inconvénients principaux : d'une part, il oblige, jusqu'au moment où l'on commence à dépiler, à entretenir un immense réseau toujours croissant de galeries ; d'autre part, les premiers piliers tracés sont les derniers enlevés ; d'où il résulte soit que bon nombre de ces piliers s'écrasent de plus en plus sous la pression du toit, et fournissent, quand on vient à les prendre, une quantité anormale de menu ; soit encore que le mur de la couche se gonfle, obstrue les galeries et donne lieu à de grandes dépenses de réfection lorsqu'on veut reprendre les piliers.

D'un autre côté si, pour éviter ces inconvénients d'écrasement des piles et de soulèvement des roches du mur, on se transportait rapidement jusqu'à la limite du champ d'exploitation, en ne faisant qu'un réseau de galeries étroites circonscrivant un petit nombre de très-larges piliers, et si l'on ne commençait à dépiler qu'à partir de la limite, on aurait une longue période pendant laquelle l'abattage serait dispendieux et le nombre des chantiers très-restreint.

On retarderait ainsi beaucoup le moment de l'exploitation productive.

(**298**) Le meilleur système paraît être de combiner ces deux points de vue : c'est-à-dire de se porter progressivement jusqu'à la limite de l'étage au moyen d'un réseau à très-larges mailles de galeries étroites, et, chemin faisant, de considérer les diverses mailles de ce réseau comme devant être tracées et dépilées, chacune pour leur compte et le plus promptement possible, en ne laissant subsister

Digitized by Google

après le dépilage d'un quartier que les petites galeries nécessaires pour aborder le quartier suivant.

On diminue ainsi la longueur et la durée moyennes des galeries entretenues, et le dépilage se faisant partiellement, dans des parties fraîchement tracées, a lieu dans les meilleures conditions au point de vue de la qualité des produits.

En principe, on peut dire que *dès qu'un quartier quelconque a été tracé*, on doit se demander si ce quartier peut être dépilé sans empêcher au delà le développement des autres quartiers, et si la réponse est affirmative, *il faut immédiatement dépiler*.

Le tracé fait dans ces conditions constitue la méthode d'exploitation par *massifs longs*, tandis que l'autre mode de tracé constitue l'exploitation par *piliers et galeries*, ou par *piliers tournés*.

La première expression doit rappeler la pensée que les massifs ne sont recoupés d'abord que de loin en loin, pour les besoins de la circulation et de l'aérage ; les deux autres qu'on fait de suite un tracé plus complet de tout l'étage, en vue de faire de ce traçage même une période productive.

(**299**) C'est l'exploitation par massifs longs qui mérite assurément la préférence.

On fera, par exemple, un réseau à larges mailles comprenant une série de voies en direction de 50 en 50 mètres, reliées par des voies montantes de 100 en 100 mètres, les unes et les autres ayant les dimensions strictement nécessaires pour le service auquel on les destine.

Ces voies seront comme une sorte de travail préparatoire, à l'aide duquel on attaquera les massifs ou quartiers qu'elles circonscriront, en même temps qu'on les prolongera pour aller former d'autres grands massifs semblables.

L'attaque pourra se faire par les deux voies montantes, dont chacune prendra la moitié de chacun des deux grands massifs entre lesquels elle est tracée. On fera partir de ces voies une série de galeries en direction, d'abord étroites, pour assurer la conservation du plan incliné, puis s'élargissant brusquement, pour prendre la plus grande dimension que comportent l'allure de la couche et la durée

Digitized by Google

limitée qu'elles doivent avoir. Ces galeries laisseront entre elles des massifs dont la largeur dépendra également des conditions locales. Ces galeries viendront se rejoindre deux à deux avec les galeries semblables parties de la voie montante voisine.

On obtient ainsi une série de massifs longitudinaux d'une centaine de mètres de longueur, qu'on prend dans l'ordre descendant, en les attaquant par le milieu et revenant vers les deux voies montantes.

Le dépilage d'un de ces longs massifs terminé, les voies montantes et les voies en direction qui le circonscrivent restent protégées par un pilier de sûreté qu'on ne reprend qu'à la fin des travaux. Ces galeries prolongées au delà du quartier dépilé, soit en direction, soit en amont pendage, servent à circonscrire d'autres quartiers semblables que l'on enlèvera successivement de la même manière.

La figure 217 représente en plan la disposition générale d'une exploitation par massifs longs. On retrouve sur la figure les divers détails ci-dessus décrits.

On voit comment un quartier est déjà en dépilage, alors que les quartiers situés au delà, suivant la direction ou l'inclinaison, ne sont encore qu'en préparation ou en traçage.

(**300**) Quant au dépilage d'un massif long, il peut se faire suivant deux systèmes différents, entre lesquels il ne me paraît pas que l'expérience ait définitivement prononcé, et qui peuvent bien être en effet, l'une et l'autre, à préférer selon les circonstances locales.

On peut, ou bien faire des galeries d'une largeur moyenne et des massifs d'une largeur comparable à celle des galeries, ou bien faire au contraire les galeries les plus larges qu'il est possible, en ne conservant entre elles que des massifs insignifiants, dont le but principal est de soutenir provisoirement le toit, et qui ne jouent, pour ainsi dire, que le rôle des montants d'un cadre de boisage.

Ce second système, que l'on pourrait appeler le système anglais, n'est applicable qu'avec un bon toit, un charbon solide et un dépilage mené très-rapidement. Je serais porté à croire que dans ces

Digitized by Google

conditions, c'est celui qui fournit le plus de gros et qui fait la moindre dépense de bois.

(**301**) Dans des conditions moins favorables, on donne habituellement plus de largeur aux massifs qu'aux galeries ; on aura par exemple des galeries de 4 à 5 mètres séparées par des massifs de 6, 8, 10 mètres.

Un de ces massifs, qui aurait, je suppose 8 mètres de largeur et une longueur égale à la distance de deux voies montantes, diminuées de deux fois l'épaisseur du pilier de protection de ces galeries, se prendra à partir du milieu en battant en retraite vers les deux voies montantes.

On commencera par ouvrir une taille montante de 4 ou 5 mètres traversant le massif, jusqu'à ce qu'on rencontre les éboulements du massif supérieur déjà exploité.

Cette première taille ouverte, on continuera le dépilage de deux manières différentes, soit au moyen de séries de tailles montantes, plus ou moins contiguës les unes aux autres, soit au moyen de deux tailles chassantes, marchant en un sens contraire l'une de l'autre.

Assez souvent les tailles montantes sont *immédiatement contiguës;* alors les ouvriers ont, d'un côté, le massif de charbon que prendra la taille suivante, de l'autre côté les éboulements déjà plus ou moins complets de la taille précédente.

On pousse la taille, ou chantier d'abattage, jusqu'aux éboulements du massif supérieur. Si la taille a été poussée seulement sur la même hauteur que les galeries, et qu'il reste une planche au toit, on la prend en retour aussi bien qu'on le peut, en déboisant et laissant se produire, ou provoquant, avec le pic ou à l'aide de quelques coups de mine, l'éboulement de cette planche.

Si cette planche n'est pas nécessaire pour soutenir un faux toit, on peut la prendre immédiatement, pendant qu'on pousse le chantier de dépilage..

Parfois, au lieu de faire ces chantiers immédiatement contigus, on isole un chantier en activité du chantier voisin qui vient d'être achevé, par un petit mur en charbon d'environ 1 mètre d'épaisseur, qu'on reprend aussi bien qu'on peut, au moment où l'on

Digitized by Google

bat en retraite pour commencer le chantier suivant. Cette disposition, qui rappelle ce que j'ai appelé tout à l'heure le système anglais, est représentée figure 218. Elle oblige à faire deux entailles au lieu d'une; mais elle peut être utile, lorsque la pression du toit est très-forte, au point de vue de la production du gros; elle peut aussi diminuer notablement les frais de boisage.

Les tailles montantes sont limitées, dans leur emploi, aux couches horizontales ou médiocrement inclinées.

Des inclinaisons permettant aux charbons de glisser sur le mur, seraient incommodes et présenteraient des inconvénients graves, lorsqu'on viendrait à percer dans les éboulements du massif supérieur.

(**302**) Les tailles chassantes, qui sont d'ailleurs *applicables à tous les cas*, sont donc *nécessaires* pour les grandes inclinaisons.

Une taille chassante, telle que celle représentée en coupe et en plan (*fig.* 219), se mène en boisant en arrière du front de taille de manière à régler les éboulements.

En général, on tient à ce que ces éboulements ne soient pas trop retardés. Lorsque le toit ne s'éboule pas assez vite, le porte-à-faux qui en résulte tend à écraser le charbon le long du front de taille, et à augmenter la proportion de menu et la dépense de bois; puis, lorsqu'enfin l'éboulement se détermine et se fait en grand, il est difficile à maîtriser, et il s'étend parfois jusqu'au front même de la taille. Il peut en résulter des accidents, bien qu'ordinairement un tel mouvement ne se produise pas sans indices précurseurs, qui donnent aux ouvriers le temps de se mettre en sûreté; mais du moins la taille est *démontée*, et il faut un certain temps pour la rétablir.

On tâche donc d'éviter cet accident, et de maintenir l'éboulement à une distance à peu près constante du front de taille.

A cet effet, lorsqu'on le trouve trop retardé, et que la pression devient trop forte sur le front de taille, on détermine la rangée de buttes jusqu'à laquelle on veut le faire avancer. On fait, le long de cette ligne, s'il y a lieu, *un redoublement* (voir la figure 219), c'est-à-dire qu'on renforce le boisage en doublant le nombre des buttes, et

Digitized by Google

on déboise entièrement au delà de cette ligne redoublée. Au besoin, le long de cette même ligne, on fait au toit quelques petits coups de mine obliques; de manière à déterminer l'affaissement de la partie déboisée et à la limiter à la ligne redoublée.

Lorsque l'inclinaison est très-forte, la taille chassante ne peut pas être une taille droite menée sur toute la largeur du massif, parce que les éboulements du massif supérieur, en glissant dans le chantier, empêcheraient le travail des piqueurs, ou compromettraient leur sûreté. Il faut s'isoler de ces éboulements, en réservant une planche suffisante qu'on fait tomber en arrière, en en prenant ce qu'on peut.

On peut encore, remplaçant la taille droite par une sorte de maintenage, dans lequel, à défaut de remblais pour les porter, les ouvriers s'échafauderont au moyen de planches posées sur les buttes du boisage, ou, s'il y a lieu, sur des buttes posées spécialement pour cet objet et convenablement encastrées dans le toit et le mur (voir la figure 220).

(**303**) En résumant ce qu'on vient de dire sur les dépilages, on reconnaît que la disposition des chantiers peut varier, suivant la même loi qu'on a indiquée pour les grandes tailles des couches minces : c'est-à-dire qu'avec des couches horizontales, ou presque horizontales, les massifs longs peuvent être dirigés *dans un sens quelconque*, sens qu'on pourra ainsi déterminer par la condition de faciliter l'abattage, en tenant les fronts des tailles parallèles au clivage ; qu'avec des inclinaisons notables, la double condition de faciliter le roulage et d'éviter, dans les piliers, des angles trop aigus, conduit à avoir des galeries en direction et des galeries suivant la pente, c'est-à-dire à tracer les massifs longs *parallèlement soit à l'inclinaison, soit à la direction* de la couche ; que les premiers cessent d'être praticables avec une inclinaison très-prononcée, égale ou supérieure à celle du talus naturel des terres ; enfin qu'à partir de ce point les massifs longs doivent être *tracés suivant la direction*.

Quant au dépilage de ces mêmes massifs, il peut être effectué, selon les cas, soit par une succession de chantiers menés *transversalement*, soit par une taille menée *longitudinalement* ; enfin, ce

Digitized by Google

dernier système est obligatoire, dans le cas des massifs longs parallèles à la direction tracés dans des couches très-inclinées.

(**304**) Troisième cas. — **Exploitation des couches de houille puissantes, rapprochées de la position horizontale.** — Nous désignons sous cette dénomination de *couches puissantes* celles dont l'épaisseur est notablement supérieure à la hauteur des galeries de mines ordinaires, depuis un minimum de $2^m,50$ à 3 mètres, jusqu'aux plus grandes dimensions connues, qui atteignent 10, 20, 30 mètres et plus.

L'exploitation de ces couches puissantes intéresse particulièrement les ingénieurs français ; car c'est en France que ces couches se présentent le plus communément, ou du moins fournissent à la production du pays le contingent proportionnel le plus élevé.

Nous distinguerons, par les motifs qui seront exposés plus loin, le cas où ces couches sont rapprochées de la position horizontale, de celui où elles sont, au contraire, rapprochées de la position verticale.

Nous considérons d'abord le premier cas.

En principe, la méthode que nous venons de décrire en dernier lieu pour les couches d'épaisseur moyenne, c'est-à-dire *l'exploitation par massifs longs avec dépilages*, peut être appliquée aux couches puissantes, avec cette seule différence qu'après avoir fait le traçage au mur de la couche il restera, dans les chantiers de dépilage, à *rabattre les planches laissées d'abord en couronne.*

Ce rabattage est toujours un travail assez délicat ; car il doit être conduit de manière à faire tomber ces planches sans que les éboulements du toit surviennent immédiatement après, afin de donner le temps d'enlever les charbons provenant de la tombée des planches, ou tout au moins les morceaux, avant qu'ils soient ensevelis sous ces éboulements.

La figure 221 représente un tel système de rabattage employé dans une taille chassante. On suppose qu'on rabat en deux fois, au moyen de quelques petits coups de mine qu'on fait partir après avoir enlevé les buttes qui soutiennent la masse à abattre. L'ouvrage présente ainsi l'aspect de gradins renversés.

En général, le rabattage ne se fait pas sans qu'il y ait un certain

Digitized by Google

gaspillage de charbon perdu sous les éboulements, gaspillage d'autant plus important que l'épaisseur des planches est plus grande, le charbon plus friable et le toit plus ébouleux. On considérerait comme difficile de dépasser, avec ce système, une épaisseur de 5 mètres, c'est-à-dire d'avoir en couronne plus de $2^m,50$ à 3 mètres d'épaisseur.

(**305**) Dans les mines où le charbon est assez roide, et le toit assez bon, et lorsque l'on peut, en outre, se procurer facilement des buttes de grande longueur, on pourra modifier la méthode de dépilage. On procédera par chantiers transversaux contigus, en prenant toute la hauteur de la couche par un système de gradins qui permet, sinon un abattage plus économique, du moins un meilleur triage et un moindre gaspillage des charbons. Le charbon entièrement enlevé, le toit du chantier est soutenu par une série de longues buttes ou chandelles, allant du mur au toit ; il est limité d'un côté par les éboulements du chantier précédent, en bout par les éboulements du dépilage supérieur, sur les deux autres faces par le massif en exploitation et par le massif inférieur encore intact.

On commence, le long de ces deux faces et devant la galerie de roulage qui dessert ces dépilages, par mettre des rangées de buttes arc-boutées convenablement ; puis on abat tous les bois qui sont au delà. On les enlève pour les faire servir de nouveau dans le chantier voisin ; on affaiblit à coups de hache ceux qu'on ne peut abattre. Le toit cesse d'être soutenu dans toute l'étendue du chantier, et bientôt il s'abat en masse.

Dès qu'il est abattu, on peut ouvrir un autre chantier à côté ; les éboulements sont retenus par les buttes, et quoique encore mal tassés ne viennent pas en coulant encombrer ce chantier, ni la voie de roulage inférieure.

Ce système, représenté figure 222, est appliqué avec beaucoup d'habileté par les mineurs de la Silésie. Ils montrent une très-grande hardiesse pour abattre les bois, ou pour les couper à coups de hache, jusqu'au dernier instant où les craquements qui se font entendre annoncent la chute imminente du toit, qui ordinairement tombe en grand et d'un seul coup.

Digitized by Google

Cette chute est attendue pour commencer le chantier contigu, devenu par là plus facile à prendre.

Si la nature du toit était telle que sa chute suivit immédiatement l'abattage des buttes, ce travail d'abattage pourrait se faire en dehors du chantier, au moyen d'une longue chaîne qui entourerait une série de buttes, et sur laquelle on exercerait un effort de traction, à l'aide d'un treuil, d'un cric ou de quelque autre appareil semblable installé à l'abri des éboulements (Voir *fig.* 223).

Un tel système de déboisage est favorable au point de vue de la sûreté des hommes, et permet assurément de donner un peu plus de largeur aux chantiers de dépilage.

Le mode de dépilage ci-dessus décrit n'est limité que par la longueur des bois que l'on peut se procurer dans le pays, et dont le maniement est possible sans trop de difficultés pour les hommes.

On peut l'appliquer à des couches de 5 mètres, et même à des couches sensiblement plus épaisses, si l'on consent à réserver en couronne quelques planches dont la plus grande partie est sacrifiée.

(**306**) Un système analogue peut encore être appliqué même à des épaisseurs beaucoup plus fortes, si la consistance du charbon et celle du toit permettent de se dispenser du boisage.

C'est ainsi, par exemple, qu'on exploite, en Angleterre dans le Staffordshire, sur une très-grande échelle, une couche horizontale de 9 mètres d'épaisseur dite *ten yards coal*, ou *Dudley Thick*.

C'est encore ainsi qu'on exploite, aux États-Unis, des couches épaisses d'anthracite, remarquables par l'extrême solidité du charbon, comparable à celle de la pierre de taille, et par l'excellente qualité du toit.

Le système suivi revient, en définitive, à une division en massifs longs, avec ce caractère que les galeries de traçage qui séparent ces massifs sont des galeries à très-grande section, ayant la hauteur de la couche et toute la largeur compatible avec la solidité des terrains et formant ainsi la partie principale de l'exploitation. Les massifs réservés sont en grande partie perdus, le dépilage se bornant à les repercer par quelques chantiers.

Leur rôle principal et essentiel est, en réalité, comme on l'a dit

Digitized by Google

plus haut, pour le système de dépilage désigné sous le nom de système anglais, de soutenir le toit des grandes galeries, ou de servir en quelque sorte de murs aux espèces de chambres que forment ces galeries.

Dans le Staffordshire, ces galeries, ou chambres, sont ouvertes sur une trentaine de mètres et plus, quelquefois sur 45 mètres de largeur ; les massifs compris entre ces tailles ont 7 mètres seulement d'épaisseur. Le toit de la galerie est en outre soutenu par une rangée, ou quelquefois deux rangées de petits piliers tournés, dits *men of war*, alignés dans l'axe, ou parallèlement à l'axe de la galerie, auxquels on donne la section et l'écartement que l'on juge nécessaires, (soit, par exemple, 8 mètres de côté et 11 mètres d'intervalle).

L'avancement présente une série de gradins renversés ; la sous-cave se fait au mur de la couche, et les divers bancs de charbon son successivement rabattus dans l'ordre ascendant.

Dans les conditions où s'exécute ce travail, l'abattage est très-économique, mais assez dangereux, et les accidents sont fréquents. En outre, si les bancs se détachent trop facilement les uns des autres, il peut y avoir un assez grand gaspillage de charbon, parce que les gros nerfs que présente la couche tombent quelquefois par plaques immenses, recouvrant le charbon des planches inférieures avant qu'on ait eu le temps de l'enlever complétement. Ce charbon enfoui dans les déblais s'échauffe et prend feu facilement, et il arrive souvent qu'au lieu qu'on ait à songer à dépiler les massifs qui bordent une galerie, celle-ci doit être prématurément abandonnée et toutes les issues qui y aboutissent complétement bouchées, à cause des incendies qui se développent en arrière du front de taille.

(**307**) Aux États-Unis, le même système de travaux est appliqué, avec cette différence que la galerie à grande section est menée en gradin droit, c'est-à-dire en attaquant d'abord les bancs supérieurs de la couche.

Ce mode de travail est favorable au bon triage du charbon et à son extraction complète. Il est en outre moins dangereux pour les hommes, et me paraît, en définitive, devoir être préféré au mode suivi dans le Staffordshire.



Digitized by Google

Dans l'un comme dans l'autre pays, le sol de la galerie, en arrière de l'avancement, reste encombré, sur une hauteur plus ou moins grande, par les matières stériles que fournit l'abattage, ou par le menu que parfois on abandonne en partie. Une voie de roulage s'établirait difficilement sur cette masse de débris, à moins d'y faire des remaniements coûteux. On peut alors employer un artifice consistant à ménager, dans l'axe des massifs longs, une petite galerie étroite qu'on met de distance en distance, au moyen de courtes traverses, en communication avec la grande galerie. C'est par les traverses les plus voisines du front de taille que sont évacués les produits de l'abattage.

Le système décrit dans les deux numéros ci-dessus est représenté en plan (*fig.* 224).

(**308**) Le système des grandes galeries du Staffordshire et de la Pensylvanie peut sembler défectueux, en ce qu'il n'assure pas l'enlèvement complet du gîte ; mais, abstraction faite de ce défaut qui semble inhérent, quoi qu'on fasse, à l'exploitation des gîtes puissants sans remblais, on peut considérer que ce système, tel qu'il est pratiqué en Angleterre et, mieux encore, en Pensylvanie, est, après tout, pour les très-grosses couches de 8 à 10 mètres, lorsque celles-ci s'y prêtent, la manière la plus économique d'appliquer *la méthode des massifs longs avec dépilage*.

C'est elle qui donne le minimum de frais d'abattage et de soutènement.

La plupart du temps, même en tenant compte des massifs très-incomplétement exploités qui restent entre les galeries, on reconnaîtra que la perte définitive en charbon n'a rien d'excessif, surtout si l'on emploie le système des tailles en gradins droits, et qu'elle n'est peut-être pas supérieure à ce qu'elle serait dans une autre manière d'appliquer la méthode dont il s'agit à des couches *d'une égale puissance*.

(**309**) Mais cette méthode, de quelque manière qu'on l'applique, a plusieurs défauts essentiels qui sont :

Digitized by Google

Un certain gaspillage de charbon, croissant, toutes choses égales d'ailleurs, avec la puissance de la couche ;

Le danger des incendies qui sont, avec certaines natures de charbon, une conséquence presque inévitable de *ce gaspillage normal* (s'il est permis d'accoupler ces deux mots), et qui parfois en amène un nouveau, plus considérable encore, à cause des quartiers entiers qu'il faut abandonner pour limiter ces incendies ;

Enfin, les dégradations de la surface et parfois les dangers d'immersion qu'amènent les éboulements ; défauts qui croissent avec l'épaisseur de la couche et diminuent à mesure que la profondeur augmente.

**(310)** Pour faire disparaître ou du moins pour atténuer ces divers défauts, on fait intervenir un artifice dont nous n'avons pas encore parlé, et qui peut être appliqué à tous les gîtes puissants dont la stratification est nettement marquée.

Il consiste à considérer la couche comme étant la réunion de plusieurs couches distinctes, formées chacune d'un certain nombre de bancs et devant être exploitées séparément.

On élimine ainsi la difficulté résultant de la très-grande épaisseur du gîte, et la question à résoudre est celle de savoir comment on devra exploiter un certain nombre de couches superposées, dont on est maître de régler l'épaisseur individuelle, et qui *sont très-voisines les unes des autres*, ou plutôt, en fait, *en contact immédiat les unes avec les autres*.

Cela peut se faire de deux manières essentiellement différentes.

On peut considérer les différentes tranches comme des couches d'une épaisseur moyenne permettant de les exploiter *par massifs longs avec dépilage*, et alors on les prendra dans l'ordre descendant, la première étant dépilée comme une couche placée dans des conditions ordinaires, la seconde et les suivantes ayant chacune pour toit les éboulements produits par les dépilages supérieurs.

Cette disposition fractionne les éboulements, sans diminuer leur importance finale ; mais elle diminue les gaspillages de charbon, en réduisant, autant qu'on veut, les planches à rabattre dans les dépilages.

On peut prendre, au contraire, les différentes tranches comme des

Digitized by Google

couches de moyenne épaisseur devant être exploitées *par remblai complet*, de manière à amoindrir beaucoup les effets des mouvements du terrain et à faire disparaître tout gaspillage de charbon.

Alors *habituellement*, bien que ce ne soit pas une conséquence forcée, on suit, dans l'enlèvement des tranches, l'ordre ascendant, montant sur les remblais d'une tranche pour exploiter la tranche suivante.

Ces deux méthodes d'exploitation sont connues sous le nom de Méthode de Blanzy et de Méthode de Rive-de-Gier, du nom des localités où on les a d'abord employées.

La Méthode de Blanzy pourrait être nommée : *Méthode d'exploitation par tranches avec dépilage ;* celle de Rive-de-Gier : *Méthode d'exploitation par tranches avec remblai.* La notion du *dépilage* comporterait, pour la première, l'enlèvement des tranches dans l'ordre descendant. Celle de l'emploi des remblais n'implique pas forcément d'ordre déterminé, et il y a des motifs pour agir de l'une ou de l'autre façon.

D'une part, l'ordre ascendant serait assez indiqué par cette considération qu'il sera habituellement plus commode d'avoir des remblais sous les pieds que de les avoir sur la tête.

D'autre part, l'ordre inverse pourrait être motivé par une très-grande inflammabilité des charbons, faisant craindre que des incendies ne se développent dans les tranches supérieures, à la suite de leur affaissement sur les remblais des tranches inférieures.

A ces deux méthodes qui correspondent, la Méthode de Blanzy à la méthode en travers avec dépilage, et la Méthode de Rive-de-Gier à la méthode en travers avec remblai, dénommées au n° 280, il conviendrait, pour continuer l'analogie entre les couches puissantes et les amas contenant peu ou point de remblai, d'ajouter une méthode par *tranches avec estaus sans dépilage*, qui correspondrait à la *méthode en travers avec estaus*, indiquée n° 283.

Elle consisterait, à proprement parler, dans la Méthode de Blanzy avec cette seule différence : que l'exploitation serait terminée avec le tracé des diverses tranches superposées, et que l'on sacrifierait ainsi, presque complétement, soit les piliers tracés dans chaque tranche, soit les estaus réservés entre les diverses tranches.

Digitized by Google

Nous ne faisons qu'indiquer le système, qui doit être regardé comme suranné, et généralement inapplicable par les motifs indiqués au n° 283 précité.

(**311**) La méthode par tranches avec dépilage s'appliquait, à Blanzy, à une couche d'une quinzaine de mètres d'épaisseur, que l'on subdivisait en trois tranches à peu près égales, arrêtées à deux nerfs principaux, donnant dans la couche des points de repère faciles à reconnaître.

Ces trois tranches, assimilées à des couches distinctes, étaient exploitées par massifs longs, tracés de telle sorte que les voies de fond et les galeries de traçage des diverses tranches d'un étage fussent exactement de niveau, et que leurs voies montantes se confondissent en projection horizontale (voir la coupe *fig.* 225).

Cela ne présentait aucune difficulté, puisque la moindre petite traverse faite dans la couche permettait de se repérer exactement dans les trois tranches parallèles.

L'exploitation d'une des tranches se faisait suivant le système exposé aux n°s 299 et 301, c'est-à-dire en la divisant d'abord en quartiers distincts, par un réseau à larges mailles de voies de niveau et de voies montantes à petite section, puis en traçant un quartier par un système de larges galeries horizontales, laissant entre elles des massifs longs. Enfin, le traçage du quartier terminé, on dépilait les massifs dans l'ordre descendant par deux fronts de taille revenant vers les voies montantes, ces chantiers de dépilage étant d'ailleurs conduits avec le rabattage indiqué au n° 304.

Cette exploitation faite dans la tranche du dessus, on faisait le même travail dans la tranche intermédiaire, et enfin dans la tranche du mur.

(**312**) Dans les premiers temps, on avait pensé qu'il convenait de laisser un assez grand intervalle de temps, 2 ou 3 ans par exemple, entre les dépilages des quartiers correspondants de deux couches superposées. On pensait par là donner aux éboulements le temps de se tasser, et rendre ainsi plus facile l'exploitation d quartier inférieur ayant ces éboulements pour toit.

Digitized by Google

On a reconnu que dans les conditions de Blanzy, c'est-à-dire avec un charbon dur et un toit solide, il n'en était rien, et que le rabattage dans les dépilages de ce quartier se faisait plus régulièrement, et avec moins de danger pour les ouvriers, sous des éboulements même récents que sous le toit intact de la couche, parce qu'on réglait mieux la chute du toit en arrière des rabattages, et qu'on évitait les pressions irrégulières et parfois excessives qui se produisaient, lorsque l'éboulement ne suivait pas d'assez près ces rabattages.

On a donc adopté le système de faire, en quelque sorte *simultanément*, le dépilage des trois quartiers, cette simultanéité devant s'entendre avec cette restriction que les dépilages des massifs longs qui se correspondaient étaient dans chaque étage un peu en arrière de celui de l'étage supérieur.

L'ensemble des trois dépilages se présentait donc en coupe comme une sorte d'ouvrage à grands gradins droits; tandis que chacun de ces grands gradins figurait, par suite du rabattage, un ouvrage à gradins renversés.

(**313**) Cette disposition offrait, en outre, un avantage au point de vue des incendies spontanés auxquels sont sujets des charbons de Blanzy.

En effet, le rabattage d'une couche, même réduite à 5 mètres d'épaisseur, ne se faisait pas sans un certain gaspillage de charbon menu qui restait enfoui avec les éboulements.

Ce charbon mélangé d'ailleurs à des schistes inflammables provenant des nerfs et du toit de la couche, et en communication avec l'air atmosphérique par les fissures dues aux éboulements du toit, se trouvait dans les meilleures conditions pour s'échauffer progressivement et aller jusqu'à l'incandescence.

Il arrivait donc qu'en venant dépiler en dessous, au bout d'un temps assez long, on faisait tomber le feu dans les chantiers en activité.

Comme cet échauffement ne se fait que d'une manière lente, il n'a pas encore eu le temps de se produire à un degré dangereux, si le second dépilage passe assez promptement sous le premier; le

Digitized by Google

nouvel éboulement produit sur la masse le même effet de refroidissement qu'on obtiendrait en la remaniant à la pelle et en exposant les diverses parties au contact de l'air frais.

Il en résulte que les éboulements ne peuvent s'échauffer définitivement jusqu'à l'incandescence que dans des quartiers où ils n'ont plus à être remaniés, c'est-à-dire où toutes les tranches sont prises, et où par conséquent le feu peut se développer impunément.

Tel est le système qui a été inventé par M. Harmet, il y a une trentaine d'années, et qui a été considéré, en son temps, comme un progrès très-intéressant.

Il a beaucoup diminué, mais non annulé le gaspillage du charbon et réduit les dangers d'incendie, et il a permis un prix de revient assez bas; mais il est resté avec les inconvénients inhérents aux dépilages des masses puissantes, inconvénients qui sont, ainsi que nous l'avons déjà dit : un certain gaspillage de charbon inévitable, le bouleversement de la surface du sol, le sacrifice des gîtes non encore exploités situés au toit, et enfin, quelque soin que l'on prenne, un travail assez délicat pour les hommes et certaines chances subsistantes d'incendie, ou au moins d'échauffement, forçant d'abandonner quelquefois des massifs, ou même des quartiers entiers, avant leur exploitation complète.

En fait, à Blanzy même, où la méthode avait pris naissance, on lui substitue aujourd'hui une méthode par remblai.

Nous croyons cependant que la méthode de Blanzy peut être appliquée avec avantage, dans les localités où les terrains auraient peu de valeur et avec des charbons non inflammables. Elle est évidemment très-économique.

(**314**) La méthode par tranches avec remblai demande généralement une division en tranches plus minces que celle qu'il est possible d'adopter pour la méthode avec dépilages. Ce qui limite l'épaisseur dans celle-ci, c'est la hauteur des planches qu'on consent à exploiter par rabattages, en acceptant un gaspillage proportionné; dans la première, au contraire, l'épaisseur est déterminée par la condition de pouvoir mettre facilement les remblais en place dans le chantier, en se tenant à niveau.

Digitized by Google

On se limite donc habituellement à la hauteur ordinaire des galeries, 2 mètres à $2^m,50$.

On peut concevoir que l'on prenne au mur de la couche une hauteur de 2 mètres, et que l'on fasse dans cette tranche, assimilée à une couche, un tracé quelconque par piliers et galeries, ou par massifs longs. Lorsque ensuite on en vient à exploiter ces piliers et ces massifs, on emploie une disposition quelconque pour les chantiers, à la condition de les remblayer exactement, au lieu de laisser les éboulements s'y produire.

On peut même supposer qu'au lieu d'un traçage en piliers, ou en massifs longs, on applique à la tranche, si le charbon et le toit le permettent, une exploitation directe par longues tailles, sans traçage préalable, les remblais qu'exige cette méthode, et qui font défaut au chantier, étant remplacés par des remblais pris sur d'autres points, dans l'intérieur de la mine et au dehors.

Ainsi, en définitive, en se plaçant à un point de vue tout à fait général, on peut dire qu'on exploitera une tranche en y disposant les chantiers comme on le trouvera le plus à propos, sans autre condition obligatoire que de remblayer complétement tous ces chantiers quels qu'ils soient, sans laisser se produire aucun éboulement.

Une seconde tranche se prend en montant sur les remblais et en opérant de la même manière que pour la première; une troisième succède à la seconde et ainsi de suite.

Le système est représenté sur la figure 226 qui doit être rapprochée de la figure précédente. Dans l'une et dans l'autre, les numéros indiquent l'ordre dans lequel on prend les tranches.

La figure 226 suppose qu'on est en troisième tranche, la couche de 8 à 10 mètres ayant été partagée en 4 tranches de 2 mètres à $2^m,50$.

**(315)** Le nombre de ces tranches est théoriquement indéterminé. Mais les remblais d'une tranche exploitée ne supportent pleinement la tranche supérieure qu'après avoir cédé un peu à la compression. Il se fait ainsi, dans la partie supérieure de la couche, une série de petits affaissements successifs, dont l'amplitude totale augmente proportionnellement au nombre des tranches exploi-

Digitized by Google

tées, et est d'autant plus grande, pour un nombre donné de tranches, qu'elles ont été moins bien remblayées.

Ce mouvement, lorsqu'il ne dépasse pas certaines limites, peut être avantageux avec des charbons très-durs; mais le plus souvent, il diminue la proportion du gros, en même temps qu'il augmente la dépense de bois. En outre, avec des charbons très-faciles à enflammer, il peut arriver que la masse en s'affaissant, se broie et se fissure assez pour s'échauffer, même jusqu'à l'incandescence, comme le ferait une masse de menu.

Ces circonstances, et surtout la dernière, limitent le nombre des tranches et, par conséquent, la puissance de la couche qu'il est possible d'exploiter par la méthode dont il s'agit.

Je pense que le maximum pourrait être limité à une dizaine de tranches, soit 16 à 25 mètres, puissance bien rarement dépassée. Cela n'empêcherait pas d'appliquer le système, au besoin à des couches encore plus puissantes, et même aussi puissantes que l'on voudrait, en établissant sur la hauteur de la couche plusieurs étages qu'on prendrait successivement dans l'ordre descendant, chacun d'eux étant pris par tranches dans l'ordre descendant.

Sur une couche de 30 mètres, par exemple, on pourrait former 2 étages de 15 mètres, ou même, si les charbons étaient très-friables et très-sujets à s'enflammer, aller jusqu'à 5 ou 6 étages, à prendre chacun en 2 ou 3 tranches de $2^m,50$ ou 2 mètres.

(**316**) Pour l'application de la méthode, on fera le plus habituellement un tracé par massifs longs, que l'on dépilera soit par une série de tailles transversales contiguës dites *viailles*, dont chacune sera remblayée entièrement avant de prendre la taille suivante, ou bien par des tailles chassantes, en arrière desquelles on fera suivre le remblai.

Quelquefois les tailles transversales sont remblayées à mesure qu'on les avance, en laissant seulement sur le côté un passage étroit, dont une paroi est formée par le massif intact, et l'autre par le remblai terminé par un muraillement en pierre sèche. Cette disposition est favorable, lorsque la solidité des planches prises pour toit ne

Digitized by Google

permet pas de laisser le chantier ouvert sur toute sa largeur jusqu'à ce qu'il ait traversé tout le massif (voy. fig. 227).

On peut également, dans ce cas d'un remblai partiel du chantier, commencer le travail du piquage par la partie d'amont, en revenant vers la galerie de traçage et faisant le remblai en arrière.

Dans ce dernier cas, le passage qui dessert le chantier actuel est celui qu'on a réservé en remblayant le chantier précédent (voy. fig. 228).

Ces dispositions, qui exigent que le remblai d'une taille soit parementé au moins sur une face, le rendent un peu plus cher que lorsqu'on le relève tout entier à la pelle; mais il est mieux fait, mieux bourré au toit, et on prévient les éboulements qui sont *un danger actuel* pour les hommes, *une difficulté future* pour le moment où l'on repasse sur le même point dans les tranches supérieures, et, avec certains charbons, un danger d'incendie.

(**317**) Nous avons dit que dans la méthode dont nous nous occupons, les tranches étaient habituellement exploitées dans l'ordre ascendant; mais il ne faut pas en conclure que l'exploitation d'une tranche doive être terminée dans toute son étendue, avant de pouvoir aborder la tranche supérieure. Il y aurait là une fâcheuse intermittence dans la production.

Il faut, au contraire, dans chaque tranche, maintenir le principe de la division en quartiers distincts, dont on achève l'exploitation aussi lestement que possible; dès qu'elle est faite, on peut monter sur les remblais et attaquer immédiatement la tranche supérieure.

On conçoit que l'on puisse être ainsi encore à la première tranche dans un quartier, tandis que, dans un autre, on sera déjà en seconde, ou en troisième tranche, et même au delà.

Il n'en résultera qu'un peu plus de sujétion et de complication dans la distribution des remblais et dans le transport des charbons.

Par contre on pourra, en appliquant systématiquement cette idée de faire succéder rapidement l'exploitation des divers étages sur un même point, ou d'employer ce qu'on a appelé *le système vertical*, réaliser un certain avantage très-appréciable avec des charbons faciles à s'enflammer : c'est d'éviter les incendies qui peuvent, comme on l'a dit tout à l'heure, se développer lorsqu'on laisse les bancs

Digitized by Google

supérieurs, déjà plus ou moins disloqués, reposer pendant longtemps sur des remblais sans être remaniés.

Le type du système vertical consisterait, lorsqu'on a remblayé une viaille, à exploiter immédiatement à l'aplomb de cette viaille jusqu'à l'étage supérieur, avant de passer à la viaille voisine.

(**318**) Nous avons supposé, dans ce qui vient d'être dit, la couche horizontale, et alors la superposition d'une tranche sur une autre s'entend d'une manière absolue, en ce sens que les galeries de traçage de la seconde tranche s'obtiennent en remblayant celles de la première et en élargissant leur faîte. Mais si la couche a une inclinaison notable, l'étage peut être limité à un plan horizontal, comme d'ailleurs nous l'avons indiqué aux figures 225 et 226 ; les galeries de niveau de la première tranche seront au mur de la couche, et les galeries des trauches successives s'obtiendront, non plus en *exhaussant*, mais en *élargissant* vers le toit les galeries précédentes.

On peut profiter très-bien de cette inclinaison moyenne de la couche pour faciliter la mise en place des remblais. A cet effet, dans le déhouillement d'un massif en même temps que les produits sont évacués par la galerie inférieure, les remblais sont versés par la galerie supérieure, maintenue ouverte à cet effet, à la base des remblais du massif supérieur.

Si l'on dépile par une taille chassante, ces remblais peuvent être maintenus parallèlement au front de la taille qui est ordinairement suivant l'inclinaison; on peut aussi leur laisser prendre leur talus naturel en arrière de la taille, si la solidité du toit le permet.

Si les tailles sont montantes, on remblaye chacune d'elles d'une manière complète avant de commencer la taille contiguë.

On peut ainsi varier la disposition du travail, comme dans le cas des couches très-rapprochées de l'horizontale, profitant seulement de l'inclinaison pour faire en sorte que les remblais arrivent en place par l'effet de la pesanteur, et qu'on ait, tout au plus, quelques remaniements partiels à faire, pour combler exactement tous les vides.

Digitized by Google

La limitation des tranches parallèles à la couche à deux plans horizontaux, et non à deux plans normaux à cette couche, est donc applicable, en définitive, aux deux systèmes d'exploitation des tranches avec dépilage et des tranches avec remblai.

Considérant spécialement ce dernier système, nous dirons que le mode de limitation indiqué s'applique convenablement, toutes les fois que la couche n'est ni presque exactement horizontale, ni trop inclinée.

Dans le premier cas, l'élargissement serait illusoire puisqu'il ne ferait point recouper de nouveaux bancs ; dans le second cas, l'exploitation d'une tranche se trouvant avoir pour mur le remblai de la tranche supérieure, ce mur causerait un sérieux embarras dans l'exploitation, s'il présentait une inclinaison supérieure à celle que le remblai tendrait à prendre naturellement.

Cette dernière remarque nous conduit naturellement à examiner ce que l'on doit faire, lorsque les couches puissantes sont rapprochées de la position verticale.

(**319**) Quatrième cas. — **Exploitation des couches de houille puissantes, rapprochées de la position verticale.** — Nous venons de voir les divers systèmes d'exploitation applicables aux couches puissantes horizontales.

Dans un premier ordre d'idées, *on fait pour ainsi dire abstraction de la puissance*, et l'on exploite par massifs longs disposés comme pour les gîtes d'une puissance moyenne, tantôt donnant peu d'importance au traçage, et se réservant de dépiler les massifs intermédiaires en rabattant alors les bancs laissés d'abord en couronne, tantôt, au contraire, établissant des galeries à grande section ne laissant entre elles que des piliers peu épais, dont on consent à sacrifier une certaine partie, leur dépilage restant toujours plus ou moins incomplet.

Ce système est évidemment impraticable pour une couche rapprochée de la verticale ; car, avec des galeries étroites tracées au mur, le rabattage ne se ferait pas ; avec des galeries de toute largeur, les piliers intermédiaires, qui seraient alors des cloisons horizontales, ne présenteraient aucune solidité.

Digitized by Google

(**320**) Dans un autre ordre d'idées, *tenant compte de la puissance de la couche*, on la partage, par la pensée, en une série de couches superposées d'une épaisseur réduite, et on les exploite, *tantôt*, dans un ordre *toujours descendant*, par massifs longs avec dépilage et éboulement, *tantôt*, dans un ordre *généralement ascendant*, avec un remblai complet.

Le premier mode n'est pas absolument inapplicable aux couches verticales; mais le dépilage, toujours difficile dans les couches dressées, le deviendrait particulièrement avec *un mauvais toit* formé, dans chaque tranche, par les éboulements de la tranche supérieure.

La seconde méthode le deviendrait également, à cause *du mauvais mur* formé par les remblais de la tranche inférieure.

Ainsi, on est conduit, finalement, à chercher de nouvelles méthodes applicables au cas où l'on, a à la fois, une *grande puissance* et *une grande inclinaison*.

Il faut introduire quelque principe nouveau, et c'est ce qu'on fait, en modifiant l'artifice considéré au n° 310.

Pour cela, on divise la couche, non plus en tranches parallèles à la stratification, mais en *tranches horizontales ou à peu près horizontales*, c'est-à-dire qu'à un système de travaux *exécutés dans le plan de la couche* on substitue *une méthode en travers*.

On subdivise ainsi la couche, en étages dont on fixe la hauteur à volonté; puis, dans chaque étage, on est maître de régler le nombre et par conséquent la hauteur individuelle des tranches.

On prend les étages dans l'ordre descendant.

Il reste à voir comment et dans quel ordre on prend les diverses tranches d'un étage.

(**321**) Chacune d'elles est assimilable à une couche horizontale d'une épaisseur donnée, et représente, en plan, un grand rectangle dont la longueur est indéfinie dans le sens de la direction, et dont la largeur est l'épaisseur de la couche mesurée horizontalement.

On doit concevoir, en termes généraux, qu'on applique à ces tranches les deux méthodes distinctes, exposées ci-dessus (n$^{os}$ 310 et suivants), pour le cas de tranches faites *parallèlement à la stratification* dans les couches sensiblement horizontales.

Digitized by Google

La question de l'exploitation des grosses couches verticales se trouve ainsi résolue en principe.

On pourra donc employer des méthodes analogues, sauf quelques variantes possibles, soit à celle de Blanzy, soit à celle de Rive-de Gier; la première (méthode en travers avec dépilage), procédant *nécessairement* dans l'ordre descendant, pour les tranches ; la seconde (méthode en travers avec remblais) procédant *habituellement* dans l'ordre inverse.

Elles rentrent d'ailleurs dans les systèmes précédemment décrits aux nos 280 et suivants pour les amas métallifères.

On conçoit, en effet, d'une manière générale, qu'il n'y ait point de *différence géométrique* entre *un filon puissant* ne contenant qu'une quantité insignifiante de remblais et une *couche puissante rapprochée de la verticale*, et que, par conséquent, le même système de travaux puisse convenir aux deux cas.

Ce qui a été dit aux nos 280 et suivants, pour les filons puissants, peut donc se dire pour les couches dont il s'agit.

Ainsi l'on pourra, en introduisant des remblais, employer la méthode en travers proprement dite ; on pourra, sans faire usage des remblais, employer une méthode en travers avec dépilages.

On pourrait, enfin, à la rigueur, employer une méthode en travers avec estaus, sans remblai ni dépilage.

Mais on fera abstraction de cette dernière, comme théoriquement imparfaite, par les motifs déjà indiqués au n° 283 et répétés au n° 310.

Il ne restera donc, en définitive, que les deux autres méthodes.

(**322**) Celle qui consiste à dépiler sans employer les remblais, s'appliquera en traçant ordinairement au mur, quelquefois au toit de la couche, une mère galerie, ou maîtresse-galerie, servant de base à un traçage par piliers et galeries ou par massifs longs, disposés transversalement entre le mur et le toit du gîte. Ce traçage se fait sur une hauteur de 2 mètres ; mais la largeur des chantiers et la hauteur de l'estau réservé au-dessus, pour les isoler des éboulements de la tranche supérieure déjà exploitée, dépendront essentiellement de la dureté du charbon. Avec des charbons éboulieux,

Digitized by Google

on pourra donner moins de 2 mètres de largeur aux chantiers et 3 mètres et plus d'épaisseur à l'estau ; avec des charbons durs la première dimension pourra être poussée à 3 mètres et plus, la seconde réduite à 1 mètre.

Le déhouillement se fera, en partant de la limite, par l'un des moyens de dépilage indiqués au n° 301, en traitant la tranche entière comme un massif long, ayant pour largeur *l'épaisseur horizontale de la couche*, et tracé dans une couche horizontale qui aurait pour puissance *la hauteur de la galerie augmentée de la hauteur de l'estau*, et qui aurait, en outre, un toit éboulleux.

On pourra, par exemple, dépiler, par une série de tailles contiguës, séparées seulement les unes des autres par un massif latéral de 1 mètre à 1$^{m}$,50. Chaque taille traverse toute la couche, et on revient sur ses pas en rabattant l'estau réservé au toit, et prenant en même temps ce que l'on peut du petit massif réservé d'abord sur le côté (*fig.* 229).

Les éboulements de l'étage supérieur suivent immédiatement le rabattage ; on les retient au besoin par quelques murs en pierres sèches, faits de place en place pour les empêcher de trop envahir le chantier. Ils forment alors, en arrière du rabattage, un talus sur lequel se posent les ouvriers qui font le travail. On revient ainsi jusqu'à la mère galerie, que l'on barre également par un mur en pierres sèches, établi au droit du petit massif qui va être réservé pour protéger le chantier suivant.

Tandis que le dépilage d'une tranche se poursuit, on peut-être en traçage, ou même en dépilage, dans la tranche inférieure, et même dans la suivante, pourvu que les divers dépilages soient tenus en retraite les uns par rapport aux autres, formant ainsi, dans leur ensemble, une sorte de gradin droit, analogue à celui dont on a parlé au n° 312.

(**323**) Dans la méthode en travers avec remblais, la seconde des méthodes indiquées au n° 321, on appliqnera généralement les diverses considérations exposées dans les n$^{os}$ 314 et suivants. Cependant quelques détails complémentaires ne seront pas inutiles.

Avec des charbons friables et inflammables, on a pu réduire la

Digitized by Google

hauteur des étages à 6 mètres, comprenant seulement trois tranches de 2 mètres ; chaque tranche est prise par un système de traverses allant du mur au toit, et remblayée au fur et à mesure avec le plus grand soin.

Ces traverses sont prises, à la fois, en divers points de la mère galerie, et non pas seulement à partir des deux extrémités du champ d'exploitation en battant en retraite, afin de pouvoir ainsi multiplier les chantiers et avoir une production suffisante.

On prévoit le cas où, malgré la hauteur réduite des étages, le feu viendrait à se déclarer dans un quartier, en seconde ou en troisième tranche. Il faut alors, pour limiter l'incendie, barrer la mère galerie, ce qui condamnerait toutes les tailles situées au delà du barrage. Pour éviter qu'il en soit ainsi, on fait tracer, en sus de la mère galerie, une autre galerie parallèle qui est tout à fait dans la roche du mur, et qui communique de distance en distance avec la mère galerie par de courtes galeries à travers bancs de quelques mètres. La mère galerie sert pour amorcer les diverses traverses ; la galerie du mur sert pour le roulage. Un incendie vient-il à se déclarer sur un point? On le circonscrit immédiatement par deux barrages établis dans la mère galerie, entre deux galeries à travers bancs consécutives, et, par conséquent, la couche reste abordable sur tous les points, sauf entre ces deux barrages, qu'on a eu soin de rapprocher l'un de l'autre autant qu'il a été possible.

La galerie au mur et les travers bancs constituent des dépenses assez importantes, et le système n'est applicable que dans des terrains d'un travail facile ; toutefois on doit remarquer que la roche abattue peut être utilement employée aux remblais ; de sorte que ces galeries peuvent être considérées, pour ainsi dire, comme des carrières à remblais, et que leur coût doit être dégrevé des frais qu'on aurait dû faire pour se procurer ces remblais par quelque autre moyen.

Ce système est indiqué en plan sur la figure 230. Les numéros tracés sur la figure ont le même sens que ceux de la figure 208.

(**324**) Un caractère général des méthodes en travers, soit avec dépilage, soit avec remblai, c'est de ne présenter à l'exploitation que

Digitized by Google

des tranches d'une superficie réduite, relativement à celle des tranches parallèles au plan de la couche. C'est, en quelque sorte, comme si, au lieu d'une série de massifs longs parallèles, on n'avait qu'un seul massif, ayant pour épaisseur la traversée horizontale de la couche.

De là une limitation fâcheuse de la production journalière.

On peut, dans une certaine mesure et de diverses manières, parer à cet inconvénient.

En premier lieu, si la traversée horizontale du gîte le comporte, on pourra très-bien, au lieu d'une seule mère galerie, en avoir deux, l'une au toit, l'autre au mur, et même, en outre, une troisième, établie dans le milieu de la couche. De cette manière, l'exécution d'une traverse peut comporter quatre chantiers en activité à la fois, savoir : un partant de chacune des mères galeries du toit et du mur, et deux partant de la mère galerie médiane.

(**325**) Une seconde manière d'augmenter la production d'une tranche consiste à lui donner une plus grande hauteur, comparable à celle qu'on donne aux tranches d'une exploitation en travers avec dépilage, soit 5 à 6 mètres, par exemple.

On peut avoir en même temps, par cela même, un abattage plus avantageux, et l'on arrive, en outre, comme on va en juger, à avoir un remblayage non-seulement aussi facile, mais même plus économique qu'en remblayant à niveau.

Une tranche de 5 mètres d'épaisseur, par exemple, se prendra au moyen d'une mère galerie au toit servant à évacuer les produits, et une mère galerie au mur située 5 mètres plus haut, par laquelle arriveront les remblais (*fig.* 231 et 232).

On exploite par une série de traverses poussées du mur au toit, d'abord sur deux mètres de hauteur ; puis arrivé au toit, on se met en communication avec la galerie d'amenée des remblais, par une cheminée étroite, laissant au besoin un petit massif de charbon triangulaire pour soutenir la sole de cette galerie. C'est par cette cheminée que sont jetés les remblais qui coulent suivant le talus naturel des terres. Les hommes placés sur ces remblais rabattent les 3 mètres laissés en couronne, en revenant du mur vers le toit,



Digitized by Google

et n'ont à remanier que les remblais nécessaires pour achever de remplir le chantier jusqu'au toit et claver le dessous de la tranche supérieure.

(**326**) Les chantiers menés en travers du gîte sont ordinairement moins favorables à l'abattage que les chantiers parallèles à la stratification, par leur position même et aussi parce qu'ils ont à traverser les nerfs, parfois assez épais, que présentent souvent ces grosses couches, qui ne sont le plus souvent, à bien dire, qu'une série de couches de puissance ordinaire dont les entre-deux se sont progressivement réduits d'épaisseur.

Cette disposition des tailles, suivant la direction, peut être appliquée (*fig.* 232) lorsqu'on le juge opportun, et dans ce cas les chantiers d'abattage, au lieu d'être des traverses perpendiculaires aux mères galeries, partent d'une semblable traverse parallèlement à ces mères galeries.

Si, en même temps, la tranche à prendre est dans les conditions d'épaisseur indiquées au numéro précédent, et qu'on entende mettre les remblais en place par la partie supérieure du chantier, en profitant de leur poids, la disposition ne diffère plus essentiellement de celle qui a été indiquée au n° 318.

C'est qu'en effet il y a *identité géométrique* entre des tranches parallèles à la stratification, limitées à *deux plans horizontaux donnés*, et une tranche horizontale *comprise entre ces deux mêmes plans*, exploitée par une succession de tailles parallèles à la stratification.

(**327**) **Résumé sur les quatre cas précédents.** — Ce qui vient d'être dit sur les diverses méthodes d'exploitations applicables à la houille, doit être considéré comme également applicable aux autres gisements en couches.

Ces méthodes diffèrent, comme on vient de le voir, selon les conditions d'allure propres au gîte.

On ne peut pas dire, d'une manière absolue, qu'une quelconque d'entre elles soit supérieure à toutes les autres *au point de vue technique*, puisqu'elles ne sont pas toutes applicables aux mêmes circonstances.

Digitized by Google

On a vu déjà quels sont les mérites respectifs des méthodes applicables à un cas donné; il reste à comparer ces divers cas entre eux, *au point de vue de leurs avantages économiques.*

Nous éliminerons, dans cette comparaison, l'influence de la richesse absolue contenue dans un périmètre donné, en supposant que l'épaisseur totale mesurée verticalement soit toujours la même, qu'il s'agisse d'un gîte unique très-puissant, ou d'un certain nombre de gîtes plus minces.

(**328**) Cela posé, on peut dire, pour les gîtes de la première classe, que l'exploitation en est *relativement* peu avantageuse, par plusieurs motifs : en premier lieu, l'abattage y est coûteux, soit à cause de la position peu commode des ouvriers dans un chantier très-bas, soit parce qu'un travail donné de sous-cave correspond à une faible production, soit enfin parce que, si l'on a des couches très-minces, l'entaillement du toit, complément indispensable de l'abattage proprement dit, devient un travail important.

En second lieu, les services du roulage et de l'aérage demandent un coupage de voies souvent très-onéreux. L'entretien d'un réseau donné de ces voies dans une couche, donne une dépense, par tonne, d'autant plus forte que ce réseau correspond à une plus faible production, c'est-à-dire que la couche est plus mince ; la mise en place des remblais qui proviennent des coupages des voies est difficile, surtout pour les tailles chassantes ; le boisage est dispendieux surtout dans les dressants.

Aussi on regardera, en définitive, les couches minces exploitées avec remblai, comme étant d'une exploitation généralement dispendieuse, le prix de revient subissant d'ailleurs une augmentation notable, en passant de l'allure en plateurs à l'allure en dressants.

(**329**) On est de suite dans une position tout à fait différente, lorsqu'on passe à des couches moyennes permettant de donner aux chantiers, sans toucher aux roches encaissantes, une ouverture suffisante pour le travail des hommes et pour les galeries de roulage.

On peut dire que, dans ces couches, le prix de revient de l'abattage proprement dit, comparé à celui des couches minces, y varie, toutes

Digitized by Google

choses égales d'ailleurs, presque en raison inverse de l'épaisseur du charbon.

La dépense des remblais est supprimée, celles d'établissement et d'entretien des galeries sont réduites dans une proportion importante.

Les éboulements produits par le dépilage donnent lieu à des affaissements d'une tout autre nature que ceux qui ont lieu dans une couche exploitée avec remblais complets. Ces éboulements ont lieu avec concassage et foisonnement des roches, tandis que les affaissements des couches les unes sur les autres, dus au tassement progressif des remblais, ne sont accompagnés d'aucun foisonnement et se font ainsi sentir, avec le temps, à toute distance ; de sorte que des couches moyennes, *suffisamment distantes les unes des autres et du jour*, pourront être parfaitement exploitées *par dépilages*, sans plus de dommages et peut-être avec moins de dommages à la surface que si l'on employait des remblais.

Toutes les conditions se trouvent alors réunies pour obtenir le prix de revient le plus bas.

Tel est le cas de la majeure partie des exploitations houillères de l'Angleterre, et c'est là une cause évidente de supériorité des mines anglaises, dont le prix de revient normal, malgré le taux élevé de la main-d'œuvre, est très-inférieur à celui de la plupart des mines du continent. Il est certain qu'abstraction faite des circonstances exceptionnelles et vraisemblablement passagères qui se produisent depuis dix-huit mois dans l'industrie houillère, les mineurs anglais ont pu généralement vendre *avec bénéfice*, sur le carreau de la mine, à des prix très-inférieurs au *simple prix de revient* obtenu dans beaucoup de houillères du continent, notamment dans la plupart des houillères du nord de la France et de la Belgique.

Lorsque la distance des couches entre elles ou à la surface n'est pas suffisante, eu égard à leur puissance, le dépilage par éboulement, sans rabattage pour les couches moyennes, avec rabattage pour les couches épaises, a les inconvénients, déjà plusieurs fois signalés, de disloquer le terrain superposé, de compromettre les gites situés au toit, d'augmenter l'entretien d'eau et de donner lieu à des indemnités en faveur des propriétaires de la surface ; en outre, dans le cas où le rabattage s'applique sur une grande échelle, je

Digitized by Google

veux dire à une grande épaisseur de charbon, d'occasionner des gaspillages et parfois des incendies qu'on ne peut pas toujours maîtriser.

L'emploi du remblai est donc indiqué, malgré l'augmentation qui en résulte dans le prix de revient, et bien qu'il ne fasse qu'empêcher les dislocations violentes du terrain, mais non les simples cassures ni les affaissements généraux.

(**330**) Lorsque l'épaisseur devient telle, eu égard à la consistance du charbon et à la nature du toit, que la couche ne peut plus être prise en une fois sur toute son épaisseur, on a vu que, si elle est rapprochée de l'horizontale, il y a lieu de la considérer comme composée de plusieurs couches distinctes à exploiter séparément.

Ces couches séparées doivent être exploitées dans l'ordre descendant, si on les dépile par éboulement, et peuvent être prises dans un ordre arbitraire, mais habituellement ascendant, si l'on emploie une exploitation par remblai.

On doit regarder l'emploi des remblais comme d'autant plus indiqué que la couche a une puissance totale plus grande. En fait, cet emploi se répand de plus en plus, et l'on reconnaît que la diminution des dégâts de la surface, celle des frais d'abattage et parfois de boisage, l'augmentation du rendement d'un périmètre donné, la diminution des chances d'accident et d'incendies, sont des avantages positifs, ou éventuels, qui compensent le surcroît de dépense occasionné par les remblais.

(**331**) Enfin, si l'on considère les couches puissantes rapprochées de la position verticale, qui doivent être exploitées par une méthode en travers, on aura, pour se décider entre la méthode des dépilages avec éboulement et celle des remblais, des motifs du même ordre que pour les couches horizontales; aussi, en fait, les remblais obtiennent-ils de plus en plus la préférence, dans l'un comme dans l'autre cas.

Toutefois, il y a entre les deux cas cette différence que les couches rapprochées de la verticale sont, en général, toutes les autres circonstances étant les mêmes, exploitées moins avantageusement que

Digitized by Google

les couches horizontales. Il y a pour qu'il en soit ainsi divers motifs de détails, notamment l'augmentation des frais d'abattage, et il y a, en outre, ce motif général, que la moindre étendue horizontale des étages ne permet pas d'avoir, à un niveau donné, une production journalière aussi importante.

(**332**) De ce qui vient d'être dit, on pourrait conclure qu'ayant dans un champ d'exploitation d'une étendue donnée, une certaine quantité de charbon à exploiter, l'exploitation s'en fera plus avantageusement si les couches sont rapprochées de la position horizontale, que si elles le sont de la position verticale ; plus avantageusement aussi, si l'épaisseur totale étant par exemple, de 10 mètres, on a cinq à six couches de 2 mètres, ou un peu au-dessous de 2 mètres, que si l'on avait ou un plus grand nombre de couches plus minces, ou un moindre nombre de couches plus épaisses ; soit, par exemple, une quinzaine de couches de $0^m,65$ à $0^m,70$, ou une seule couche de 10 mètres.

Si l'on voulait préciser ces avantages par des chiffres, autant du moins que la chose est possible, avec des éléments aussi variables, selon les temps et selon les lieux, que ceux qui entrent dans le prix de revient, peut-être pourrait-on se résumer ainsi :

1° *Pour les couches minces de houille, exploitées par remblais*, qui sont celles dont le prix de revient est le plus variable, selon l'épaisseur de la couche, son inclinaison, la nature de son toit, etc., on les exploitera rarement à moins de $7^f,50$ à 9 francs la tonne si elles sont horizontales, et à moins de 9 à 11 francs et même au delà, si elles sont verticales ;

2° *Pour les couches d'épaisseur moyenne exploitées par dépilages*, et placées dans les meilleures conditions d'inclinaison, de facilité d'abattage et de solidité du toit, je ne pense pas qu'il y ait aujourd'hui un seul district de mines où l'on exploite, en portant bien en compte toutes les dépenses réelles et tous les amortissements, à moins de 5 francs par tonne.

Ce prix, tout à fait exceptionnel, sera toujours dépassé, dès que quelqu'une des conditions énoncées ci-dessus fera défaut ; si, par exemple, la couche dépense beaucoup de bois, si elle est dérangée par

Digitized by Google

des failles fréquentes, si elle est rapprochée de la verticale, etc.; de sorte qu'en définitive on sera plus habituellement à 6 fr., et parfois beaucoup au-dessus de ce chiffre, que rapproché de la limite inférieure de 5 francs.

L'emploi des remblais complets substitués au dépilage amènera peut-être quelque amélioration de prix sur certains chefs de dépense, notamment sur le boisage; mais on devra compter, en définitive, sur une augmentation totale de prix qui pourra être comprise, selon les cas, entre 0f,50 et 1 franc par tonne.

3° *Pour les couches d'une grande épaisseur*, j'estime que les couches horizontales, à charbon solide et non inflammable, et avec un très-bon toit, peuvent être exploitées par massifs longs et dépilages, avec ou sans division préalable en tranches, dans des conditions économiques aussi avantageuses que les couches moyennes, quant aux dépenses courantes de l'exploitation, bien qu'elles leur restent inférieures à cause de leur extraction moins complète et des éventualités de dégâts à la surface; mais ce système d'exploitation, par les motifs déjà indiqués (notamment au n° 313), sera rarement applicable.

Ordinairement, on sera conduit à exploiter avec remblai, par tranches soit parallèles à la stratification, soit horizontales, et le prix de revient pourra être compris entre 7 et 8 francs pour les couches horizontales, entre 7f,50 à 9 francs pour les couches verticales.

(**333**) Je ne donne ces divers chiffres que comme des espèces de moyennes s'appliquant assez bien à l'époque actuelle, mais qui ne dispenseront nullement d'étudier spécialement la question des prix de revient dans un cas donné, avec la pensée qu'on pourra bien, dans des circonstances spéciales, être en dehors de ces moyennes; les dépasser, par exemple, d'une manière notable, si l'on est grevé d'amortissements considérables, ou si l'on a de très-grands frais d'épuisement, ou encore si l'allure des couches est très-irrégulière, ou si la consistance du terrain entraîne une grande dépense de bois, etc.

Sur les 200 et quelques millions de tonnes qui, en ce moment, se produisent annuellement dans le monde, on peut estimer que les deux tiers, au moins, sont produits par des couches d'épaisseur

Digitized by Google

moyenne, un quart par les couches minces, et le reste, soit 8 p. 100, par les grosses couches.

Ces chiffres permettraient, si on le voulait, de calculer une moyenne générale. En admettant, par exemple, 6f,50 pour les premières, 9f,50 pour les secondes et 8 francs pour les troisièmes, on trouverait une moyenne générale de 7f,37, qui, par sa généralité même, est dépourvue d'intérêt pour le mineur de profession.

J'ajouterai enfin que les prix de revient indiqués ci-dessus, qui sont les prix *sur le carreau de la mine*, et s'appliquent, avons-nous dit, à l'*époque actuelle*, ne pourront que s'*accroître avec le temps*, et même assez rapidement, par l'augmentation incessante de la main-d'œuvre, des bois et de tous les objets de consommation. Mais, sauf quelques récurrences possibles dans les moments de crise, ces prix de revient s'*accroîtront moins vite que les prix de vente*, parce que l'augmentation de la production, quoi qu'on fasse, n'arrivera pas à suivre l'augmentation de la demande. Cette insuffisance croissante aura sa conséquence économique inévitable : une *élévation spéciale de prix*, s'ajoutant à celle qui résultera naturellement de la dépréciation progressive de la monnaie et lui *sera commune avec les autres marchandises* (voir le n° 72).

### § 3. — Appendice sur l'emploi des remblais.

(**334**) Nous avons vu, dans les deux paragraphes précédents, quel rôle important joue l'emploi des remblais, dans les méthodes d'exploitation que l'on peut appliquer aux divers gîtes, qu'ils se présentent en filons, en amas ou en couches.

Sans y revenir en détail, nous rappelons que tantôt ces remblais sont produits par l'exploitation même et pris soit dans la masse du gîte, soit dans les roches encaissantes, tantôt ils doivent être pris, partiellement ou en totalité, sur d'autres points, pour suppléer à l'insuffisance ou à l'absence des remblais produits au chantier ; que ces remblais, généralement utiles, sont, on peut le dire, indispensables, dans tous les gîtes *puissants* dont on veut faire l'exploitation *complète*, en évitant les divers inconvénients que présentent les *mé-*

Digitized by Google

*thodes de dépilages avec éboulement*, notamment le gaspillage d'une partie souvent importante de la matière utile que fournit le gîte, gaspillage bien plus grand encore lorsqu'on se borne à un traçage *non suivi de dépilages;* qu'ils n'ont d'ailleurs d'autre inconvénient qu'une certaine augmentation, parfois plus apparente que réelle, du prix de revient, et que cet inconvénient disparaît et disparaîtra de plus en plus, pour beaucoup de matières, et *assurément pour la houille*, devant l'intérêt supérieur qu'on trouvera à éviter tout gaspillage d'une matière appelée, ainsi que nous venons de le dire, à devenir de plus en plus recherchée.

Il importe donc d'entrer dans quelques indications sur la manière dont ce service des remblais peut être organisé.

(**335**) En principe, les remblais proviennent du triage fait sur place des matières stériles qui accompagnent la matière utile exploitée (les gangues dans les gisements métalliques, les nerfs de grès ou de schistes dans les couches de houille).

Ils proviennent également des roches encaissantes, soit qu'il y ait un faux toit à abattre, soit à cause de l'entaille qui peut être faite dans ces roches, afin de donner au chantier d'abattage la largeur ou la hauteur suffisante pour que les piqueurs puissent y travailler, ou afin de donner des dimensions convenables, ou un sol bien résistant, aux voies de roulage ou d'aérage.

L'avantage de ces remblais, c'est d'être en quelque sorte *à pied d'œuvre*, et l'on peut souvent dire que, dans ce cas, les remblais ne coûtent rien, en ce sens qu'il en coûte moins, pour utiliser sur place ces matières stériles, que pour les rouler jusqu'au puits, les amener au jour et les déposer.

Ces remblais produits au chantier, ont parfois l'inconvénient, dans les couches de houille, d'être composés principalement de schistes plus ou moins bitumineux ou pyriteux, susceptibles de fermenter, de s'échauffer, et même de s'enflammer spontanément, lorsqu'ils restent longtemps en tas sans être remaniés. L'exemple n'est pas rare de vieux travaux remplis de remblais, ou *restaples*, dans lesquels il se développe ainsi spontanément des incendies.

Digitized by Google

Des schistes ayant cette propriété de s'enflammer spontanément doivent être extraits au jour, ou du moins on ne doit les employer qu'avec précaution, mélangés, ou en quelque sorte *noyés*, dans une masse de remblais infermentescibles.

(**336**) A défaut des remblais pris au chantier, ou dans son voisinage immédiat, il faut en prendre ailleurs, soit dans la mine même, soit au jour. On y parvient de diverses manières.

Ainsi, dans une exploitation par grandes tailles, on laissera de place en place, à une certaine distance en arrière du front du chantier, des vides circulaires entourés d'un bon mur en remblai, qu'on maintiendra d'abord bien boisés et qu'on fera communiquer par une ou plusieurs galeries avec le front de taille (fig. 233).

En déboisant, on déterminera un éboulement avec dislocation des roches; il se fera une espèce de cloche, ou de fontis, qui deviendra une carrière à remblais, dont on viendra charger les produits à l'entrée des galeries ci-dessus.

S'il s'agit d'un gîte incliné, on fera à un niveau convenable une courte galerie à travers bancs dans la région du toit. A son extrémité, on battra au large, en avant et sur les côtés, jusqu'à ce qu'on ait une excavation suffisamment étendue. On la déboisera en battant en retraite vers la galerie à travers bancs, à l'extrémité de laquelle on viendra ensuite prendre les matières éboulées (voir fig. 234).

D'autres fois, on aura pu préalablement exploiter par dépilage avec éboulement une tranche au toit de la couche, et ultérieurement, lorsqu'on prendra le reste de la couche par une série de chantiers en travers, on trouvera, en chaque point où un chantier atteindra le toit, les éboulements du dépilage qui pourront être employés comme remblais dans ce chantier même.

Si le gîte est découpé par des failles remplies sur une épaisseur plus ou moins grande de matières broyées sans consistance, une galerie quelconque poussée dans le gîte peut, au point où elle rencontre une de ces failles, devenir sur ce point une source de remblais. On boise très-fortement l'extrémité de la galerie à la rencontre de la faille; on monte sur le plan de celle-ci une cheminée de quel-

Digitized by Google

ques mètres de hauteur, qu'on élargit en battant en retraite de manière à y déterminer des éboulements, qu'on vient prendre au pied de la cheminée et qui se renouvellent au fur et à mesure qu'on les enlève (fig. 235).

Enfin, on a soin toutes les fois qu'on fait un travail préparatoire quelconque dans le rocher, tel, par exemple, que celui de la figure 230, d'employer en remblais les roches abattues.

A défaut des moyens ci-dessus indiqués, ou comme complément de ces moyens, on prendra les remblais au dehors.

On pourra d'abord, après qu'ils auront brûlé en tas à l'air libre, redescendre dans la mine les schistes bitumineux ou pyriteux qu'il aura d'abord fallu extraire, comme on vient de le dire au numéro précédent.

On pourra employer de même des scories et autres déchets d'usines métallurgiques, des matières sableuses ou argileuses faciles à piocher, ou même des roches solides obtenues par de grands abattages.

Ce dernier cas s'appliquera très-bien, pour un gîte exploité à une faible profondeur, en se combinant avec l'exploitation à ciel ouvert de la partie voisine des effleurements. Le découvert de l'exploitation à ciel ouvert fournira ainsi, pour l'exploitation souterraine établie en aval pendage de la première, des remblais qui ne coûteront que les frais de transport et de mise en place, si l'on met leur abattage au compte de l'exploitation à ciel ouvert.

(**337**) Les remblais obtenus par l'un ou l'autre des systèmes indiqués au numéro précédent, il faut les introduire dans la mine, puis les mener au chantier.

On peut supposer qu'on les introduise à l'aide du même appareil qui sert à l'extraction, les matières utiles extraites étant ainsi équilibrées jusqu'à concurrence du poids des matières introduites.

La force motrice à développer par la machine s'en trouve réduite d'autant.

Mais c'est là un avantage *théorique*, bien peu important en pratique, avec les puissantes machines d'extraction que l'on établit

Digitized by Google

aujourd'hui, et cet avantage ne compense évidemment pas les deux inconvénients principaux inhérents à ce système.

Le premier de ces deux inconvénients est de rendre étroitement solidaires deux services, celui de l'extraction et celui des remblais, tandis que le premier doit, au contraire, être parfaitement indépendant, de manière à fonctionner avec la plus grande rapidité possible.

Le second inconvénient est que les produits devant suivre un chemin *descendant*, pour se rendre du chantier au puits, la place d'accrochage est, en principe, au point le plus bas de l'étage en exploitation. Ce même chemin est donc *montant* pour les remblais, s'ils sont introduits par la même place d'accrochage.

Ainsi, en général, le puits et l'appareil d'extraction ne doivent pas être employés à l'introduction des remblais.

Ceux-ci doivent être introduits soit par des cheminées verticales dans lesquelles on les jette, soit par des appareils automoteurs établis dans ces cheminées, ou dans des fendues.

En principe, ils doivent arriver *au point le plus haut* des tranches en exploitation, de manière à ne plus avoir *qu'à descendre* pour parvenir au chantier auquel ils sont destinés.

On devra disposer les choses, quand les conditions locales s'y prêteront, de manière que le même matériel *descende* chargé, du chantier vers le puits d'extraction, et qu'après avoir été vidé au jour, il aille se remplir à la carrière aux remblais, que de la carrière il se rende vers l'orifice d'une cheminée d'introduction des remblais, et qu'enfin, il *redescende* encore, du pied de cette cheminée vers le chantier où il devra vider son remblai et prendre une nouvelle charge.

Cette disposition a été établie avec succès sur une grande échelle par M. Graffin, directeur des mines de la Grand-Combe (Département du Gard).

Les conditions locales, ingénieusement mises à profit, ont permis qu'à l'exception du moment où ils sont élevés dans le puits d'extraction, les wagons soient aidés par l'action de la gravité, dans le parcours circulaire qu'ils exécutent du chantier à la recette inférieure du puits, de la recette supérieure au lieu de déchargement, de ce

Digitized by Google

lieu à la carrière aux remblais, de cette carrière à l'orifice de la cheminée d'introduction des remblais, de cet orifice au pied de la cheminée, et de là enfin au chantier, d'où ils sont partis avec du charbon et où ils reviennent avec du remblai.

Cette disposition évite l'encombrement à l'accrochage et dans les voies de roulage; elle permet de faire ces voies étroites et peu coûteuses, et elle rend le transport très-économique, puisque le roulage n'ayant lieu partout que dans un sens, on peut augmenter la pente des voies de roulage jusqu'au degré où les wagons sont sur le point de descendre seuls par l'action de la gravité.

(**338**) On sait que l'on compte, en nombre rond, dans une mine de houille, environ une tonne de production par mètre cube de vide résultant de l'exploitation. On devrait avoir théoriquement 1,200 kilogrammes, la densité de la houille étant à peu près 1,2. La différence en moins compense à peu près les déchets du triage des nerfs, et les pertes inévitables que l'on fait sur le menu obtenu à l'abattage, et surtout au havage.

On compte, dans un travail avec un remblai bien complet, 8 hectolitres de remblai par tonne extraite ou par mètre cube de vide, la différence de 2 hectolitres étant due à ce qu'il existe toujours certaines galeries qui doivent rester ouvertes et qu'on ne remblaie pas, à ce que l'on ne bourre pas toujours parfaitement jusqu'au toit, et enfin à ce que, par un phénomène très-habituel dans les mines, la poussée au vide diminue généralement les dimensions des chantiers qui ne sont pas immédiatement remblayés.

En admettant que les matières abattues pour former le remblai foisonnent de 50 pour 100, ou donnent 15 hectolitres au mètre cube, on voit qu'une tonne de houille extraite suppose une quantité de $\frac{8}{15}$ de mètre cube de roche en place, abattue et introduite pour remblayer les travaux.

On en déduira, quand on aura évalué le prix de l'abattage, les frais de transport et ceux de mise en place, quelle sera la dépense par tonne qui résultera de l'emploi de ce mode de travail.

Soit, par exemple, la roche s'abattant au prix de 1 franc par mè-

Digitized by Google

tre cube *mesuré en déblai*, et le transport et la mise en place coûtant 0 fr. 50 c., le prix par tonne de houille sera $\frac{8}{15} \times (1+0.50) = 0^{f}.80$.

Ce chiffre n'a rien d'anormal, et représente bien à peu près le prix qu'on peut réaliser dans des conditions moyennes.

Digitized by Google

# APPENDICE

---

## LÉGENDES DES PLANCHES

### Planche I. — Figures 1 à 10.

Fig. 1. — N° **10**. — Cette figure montre ce qu'on entend par l'*inclinaison* et la *direction* d'un gîte, lequel, abstraction faite de sa puissance, est assimilé à une surface courbe se confondant soit avec celle de son toit, soit avec celle de son mur.

AB étant la trace horizontale de cette surface, la tangente MM′ au point *m* est la *direction* en ce point.

Un plan vertical perpendiculaire à MM′ en *m* donne, par sa trace horizontale, la projection $P_1P_1'$ de *la ligne d'inclinaison*, et la pointe de la flèche indique le *sens du plongement*.

Rabattant ce plan vertical autour de $P_1P_1'$ comme charnière, la courbe CD est la trace du gîte sur le plan vertical, la tangente PP′ à la courbe CD est la ligne d'inclinaison, et cette inclinaison est mesurée par l'angle $P_1mP = P_1'mP' = \alpha$, que cette tangente fait avec le plan horizontal.

Fig. 2. — N° **10**. — Cette figure montre comment on peut définir, pour les deux éléments ci-dessus (la direction et l'inclinaison), leur orientation en un point quelconque par rapport au

Digitized by Google

méridien NS, qu'il s'agisse d'ailleurs du méridien vrai ou du méridien magnétique. On aura toutes les positions possibles de la ligne M*m*M′ de la figure précédente en faisant varier l'angle N*m*M′, de 0 à 90° vers l'est ou vers l'ouest, ou de 0 à 180°, si l'on convient de compter toujours les angles dans le même sens (du nord vers le sud en passant par l'est, par exemple).

On aura, à la fois, l'inclinaison et la direction, en faisant varier l'angle de la droite $mP_1$, *tracée dans le sens de la flèche*, de 0 à 360°. Ainsi, par exemple, en disant, d'après la figure, que l'inclinaison est d'un angle $\alpha$, et que la ligne d'inclinaison est dirigée sur 305°, on saura que le gîte est dirigé Nord 35° Est, ou Est 55° Nord, et qu'il plonge vers l'ouest d'un angle $\alpha$.

Fig. 3. — N° **15**. — Exemple d'une couche *barrée*, c'est-à-dire dans laquelle la matière utile est divisée parallèlement à la stratification par des *nerfs* de matière stérile *a*, *b*, *c*, plus ou moins continus.

Fig. 4. — N° **15**. — Exemple d'une *bifurcation* de couche, c'est-à-dire d'une couche unique se changeant en deux couches distinctes devant être exploitées séparément, par suite du développement progressif d'un nerf.

Fig. 5. — N° **16**. — Exemple d'une couche *en chapelet*, présentant une série de *renflements*, dits aussi *bouillards*, ou *couflées*, séparés par des *étranglements*, ou *serrées*.

Ces accidents pourraient être contemporains du dépôt de la couche; mais ils lui sont postérieurs et doivent être attribués à des mouvements de terrain dans lesquels la matière, encore pâteuse et plus ou moins plastique, a été soumise à des pressions inégales, toutes les fois qu'ils sont accompagnés de dénivellations, ou bien que les changements de puissance surviennent assez brusquement pour rendre sensible à l'œil, en un point donné, le défaut de parallélisme du toit et du mur.

Fig. 6. — N° **16**. — Exemple d'une couche *brouillée*, c'est-à-dire

Digitized by Google

dans laquelle le toit et le mur ne sont plus réglés, et la matière du gîte est elle-même plus ou moins altérée. Ce brouillage est produit par les phénomènes de soulèvement qui ont amené des inégalités de pression, et produit en certains points le concassage ou le broyage de la matière de la couche et des roches encaissantes.

Fig. 7, 8, 9. — N° **16**. — Exemples des effets produits par une dénivellation due à un phénomène de soulèvement. On observe toutes les nuances entre une cassure franche et nette, telle que AB (fig. 7), et un simple plissement (fig. 9), dans lequel les roches, d'une nature suffisamment plastique, se sont simplement contournées et étirées dans le sens AB sans se rompre.

Fig. 10. — N° **16**. — Exemple de l'accident désigné sous le nom de *défaut de masse*. C'est un changement de puissance qui se produit, non par l'amincissement de l'ensemble des bancs qui composent le gîte, mais par l'enlèvement ou la suppression des bancs supérieurs, grâce à un phénomène d'érosion postérieur au dépôt.

## Planche II. — Figures 11 à 21.

Fig. 11 et 11 *bis*. — N° **16**. — Cette figure a pour objet d'indiquer les altérations diverses qu'ont pu amener les agents atmosphériques, soit au voisinage des affleurements, soit à l'approche des cassures, ou *failles*, qui recoupent souvent les couches et donnent accès à ces agents.

Fig. 12. — N° **17**. — Exemple des *replis* et *contournements* que peuvent présenter, dans leur ensemble, les différentes couches d'un terrain sédimentaire donné.

Une couche spéciale, telle que MN, considérée dans ce terrain, fait en A *une selle*, en B et D des *fonds de bateau*. Si en C la selle



Digitized by Google

n'existe plus, parce qu'elle a été enlevée par des érosions postérieures, on dit que cette selle *se fait en l'air*.

Fig. 13. — N° **17**. — Autre exemple de replis et de contournements, dans lequel les ondulations de la figure précédente sont remplacées par des contours anguleux plus ou moins nets, et les couches relevées en certains points d'un angle supérieur à 90°.

Les points tels que A et B, qui correspondent aux selles et aux fonds de bateau de la figure 12, reçoivent ici la désignation de crochons; les parties telles que AB et CD prennent le nom de *plats* ou de *plateurs*, les parties telles que AC où la couche est renversée, le toit étant en dessous et le mur en dessus, prennent le nom de *droits* ou de *dressants*. Lorsqu'un crochon n'est pas horizontal ni même exactement rectiligne, ce qui est le cas habituel, son inclinaison se nomme son *ennoyage*.

On voit sur la figure deux lignes ponctuées verticales, supposées représenter un puits de mine en élévation. Elles montrent comment un tel puits, dans le cas d'un système de dressants et de plateurs, peut recouper plusieurs fois une même couche donnée. La figure indique trois de ces rencontres; on en a quelquefois quatre ou cinq, et même davantage.

Fig. 14. — N° **19**. — Exemple montrant comment, en général, une cassure ou faille, lorsqu'elle est accompagnée d'une dénivellation, doit rester nécessairement plus ou moins ouverte, par suite des ondulations plus ou moins prononcées de la surface suivant laquelle la cassure s'est produite.

Fig. 15 et 16. — N° **20**. — Ces figures ont pour but de montrer comment une faille restée ouverte, et accessible, par cela même, aux émanations ou aux dissolutions venant de l'intérieur de la terre, doit présenter une structure cristalline plus ou moins nette, et une disposition rubannée plus ou moins symétrique, soit par rapport aux épontes, soit par rapport aux fragments de

Digitized by Google

ces épontes qui peuvent être empâtés dans l'intérieur même du gîte.

Fig. 17. — N° **20**. — Exemple d'un filon *bien rassemblé* dans un terrain solide.

Fig. 18. — N° **20**. — Exemple d'un filon *disséminé* dans une roche peu solide, dont les éboulements successifs, postérieurs à la formation de la fente, ont produit une sorte de brèche occupant une zone plus ou moins large, et ayant ses divers fragments empâtés par les gangues et les minerais qui sont venus se déposer dans le filon.

Fig. 19. — N° **24**. — Disposition d'un *filon-couche*, c'est-à-dire d'un gisement qui est, quant à son origine, un véritable filon, mais qui est parallèle à la stratification, cette stratification ayant offert une ligne de moindre résistance, suivant laquelle la cassure du terrain s'est produite.

Fig. 20. — N° **24**. — Disposition d'un filon dit *en escalier*, produite par ce fait que la stratification étant *à peu près* parallèle à la ligne MN suivant laquelle la cassure du terrain tendait à se produire, cette cassure a été localement déviée aux points A et B et a suivi, sur une certaine distance, A*a* et B*b*, le sens même de la stratification ; de sorte qu'à la ligne droite MN s'est substituée la ligne brisée MA*a*B*b*N'.

Fig. 21. — N° **24**. — Disposition d'un filon dit *de contact*. Ce gîte est intercalé entre deux terrains différents, qui sont simplement juxtaposés et non soudés intimement l'un à l'autre. La surface de contact est évidemment une ligne de moindre résistance ou un joint de facile division. Un tel gîte s'est donc formé par le même mécanisme que le filon-couche de la figure 19, ou que les marches A*a* et B*b* du filon en escalier de la figure 20.

Digitized by Google

## Planche III. — Figures 22 à 34.

Fig. 22. — N° **31**. — Figure servant à établir les conséquences géométriques de la règle de *Schmidt*, ou règle *de l'angle obtus*, qui consiste en ce que, lorsqu'une rupture, ou faille, s'est produite et a été accompagnée d'un mouvement relatif des deux régions du toit et du mur de la faille, ce mouvement est généralement assimilable à *un glissement*, dans lequel le toit de la faille s'est déplacé *en descendant sur le mur* suivant la ligne de plus grande pente.

Il en est résulté que, sauf le cas où le gîte serait à la fois vertical et perpendiculaire au plan de la faille, les deux parties de ce gîte séparées par la faille ne sont pas en prolongement l'une de l'autre, et ont été ainsi *rejetées* l'une par rapport à l'autre.

On distingue :

*Le rejet suivant la pente de la faille*, représenté en projection en OD′, et en vraie grandeur sur le rabattement OD;

*Le rejet vertical* égal à DD′;

*Le rejet horizontal suivant la faille* égal à OS ;

*Le rejet horizontal perpendiculaire à la direction du gîte* égal à OE ;

*La plus courte distance dans le plan de la faille* égale en vraie grandeur à OF;

*La plus courte distance absolue*, perpendiculaire au plan du gîte et égale à OG.

Le rejet donne lieu en plan à un espace stérile compris entre deux lignes parallèles TOV, T′D′C. (Voir le texte des n$^{os}$ **31** et **32**.)

Fig. 23. — N° **33**. — Cette figure, analogue à la précédente, a pour objet de montrer qu'il n'est pas toujours possible, à la seule inspection, de déterminer le sens dans lequel, après avoir marché en direction sur le gîte, suivant MO, il faudra se détourner horizontalement dans le plan de la faille, pour aller retrouver le point S. On voit que pour certains cas, une simple variation dans *la*

Digitized by Google

*grandeur des inclinaisons* suffit pour changer *la direction à suivre*, soit $OS_1$, soit $OS_2$.

On voit facilement que dans le cas de pentes disposées comme l'indique la figure, on aura le sens $OS_2$ avec une faille *suffisamment plate* et un gîte *suffisamment dressé*, et le sens $OS_2$ avec les conditions inverses d'une faille *rapprochée de la verticale* et d'un gîte *rapproché de l'horizontale*. (Voir le texte du n° **33**.)

Fig. 24. — N° **34**. — Exemple d'un cas où la règle de Schmidt ne *donne plus rien*, les deux parties du gîte séparées par la cassure n'étant nullement parallèles l'une à l'autre. La cassure est due ici, non à un soulèvement, mais à un plissement sous un angle aigu, auquel n'a pu se prêter la plasticité imparfaite du terrain.

Fig. 25. — N° **36**. — Cette figure et les suivantes, jusqu'à la figure 34 inclusivement, donnent quelques exemples des aspects variés qu'offre la représentation géométrique des gisements soumis aux divers accidents d'allure définis précédemment.

Une série de selles et de fonds de bateaux, ou de plats et de droits, qui se succèdent et qui n'ont pas d'ennoyage, donnent en projection, si on les coupe par un plan horizontal, une série de droites parallèles A′, B′, C′.

Fig. 26. — N° **36**. — Si ces mêmes replis et contournements ont un certain ennoyage dans un sens déterminé, les droites parallèles ci-dessus sont remplacées par des lignes convergentes, qui font entre elles des angles d'autant plus aigus que l'ennoyage est plus faible, et qui sont raccordées par *des courbes* ou se coupent à *angles vifs*, selon que l'on a des selles et des fonds de bateau plus ou moins développés ou des crochons.

Fig. 27 et 28. — N° **36**. — Ces figures, qu'on doit rapprocher de la figure 25, s'appliquent au cas où l'ennoyage, généralement incliné, change de sens d'inclinaison, et a, par conséquent, un élément horizontal. Dans la figure 27, on suppose que l'ennoyage va en montant, et dans la figure 28 qu'il va en descendant, de

Digitized by Google

part et d'autre de l'élément horizontal. La courbe fermée A'B' de la figure 27 est une *cuvette*, dans laquelle la couche existe *au-dessous* du plan horizontal; la courbe fermée B'C' de la figure 28 est au contraire un *dos d'âne*, dans lequel la couche existe *au-dessus* de ce même plan.

Fig. 29 et 30. — N° **36**. — Ces deux figures correspondent respectivement aux figures précédentes 27 et 28 ; elles supposent qu'au lieu d'avoir des ondulations en forme de selles ou de fonds de bateau, les couches présentent des dressants et des plateurs, séparés par des crochons qui sont généralement formés d'éléments rectilignes raccordés par quelques coudes brusques. La couche existe *au-dessous* du périmètre fermé A'B' de la figure 29, comme *au-dessus* du périmètre fermé B'C' de la figure 30. Les contours fermés A'B' des figures 27 et 29, et B'C' des figures 28 et 30, sont respectivement accompagnées des lignes indéfinies C' (fig. 27 et 29) et A' (fig. 28 et 30).

On voit, ainsi qu'on l'a déjà dit, comment des allures relativement simples à définir d'une manière géométrique, peuvent donner lieu à des figures assez complexes, avec lesquelles il faut que l'esprit se familiarise. (Voir le texte du n° **36**.)

Fig. 31. — N° **36**. — Projection horizontale d'un champ d'exploitation compris entre deux niveaux donnés A'B'C', $A_1B_1C_1$, qui se poursuivent dans un système de deux dressants et d'une plateur séparés par des crochons qui ont un certain ennoyage. (Voir encore le texte du n° **36**.)

Fig. 32. — N° **37**. — Apparence produite sur le plan horizontal dans le cas où un rejet, après avoir commencé en un point M, irait en s'ouvrant de plus en plus dans toute l'étendue du plan. L'espace stérile serait alors figuré, non par deux lignes parallèles comme à la figure 22, mais bien par deux lignes divergentes MN et MN'.

Fig. 33. — N° **37**. — Apparence qu'offre sur le plan horizontal un rejet dont l'amplitude n'est pas constante, mais qui commence

Digitized by Google

en un point M, prend progressivement une certaine amplitude et décroît de nouveau pour mourir en un point N. Au lieu d'avoir deux lignes parallèles comme dans la figure 22, ou deux lignes divergentes comme dans la figure 32, l'espace stérile correspondant au rejet présente deux lignes qui, après avoir d'abord divergé du point M, puis après avoir pendant un certain temps couru à peu près parallèlement l'une à l'autre, convergent de nouveau vers l'autre point N.

Fig. 34. — N° **37**. — Apparence produite sur le plan horizontal par un rejet d'une amplitude donnée, affectant un gîte qui, au lieu d'être plan, présente une série de replis et de contournements antérieurs à la production du rejet. Les deux intersections MN et M'N', faites dans les deux parties du gîte par le plan de la faille, sont formées par la même courbe ayant glissé parallèlement à elle-même d'une certaine quantité. Il en résulte que l'espace stérile compris entre ces deux courbes offre des apparences de renflements et d'étranglements successifs, et qu'il pourrait même, en certains points, être remplacé par des parties où le gîte, au lieu d'être supprimé, semblerait redoublé sur lui-même. On répète que l'esprit doit se familiariser avec toutes ces complications, et se représenter que les figures les plus complexes en apparence peuvent résulter de la combinaison d'éléments susceptibles d'une définition géométrique simple.

## Planche IV. — Figures 35 et 36.

Fig. 35. — N° **43**. — Cette figure et les suivantes, jusqu'à la quarante-sixième inclusivement, sont la représentation de certains gisements déterminés, qui rentrent soit dans la classe des couches, soit dans celle des filons, soit dans celle des amas. Ils sont brièvement décrits dans le texte, à titre d'exemples.

La figure 35 représente en particulier les couches du bassin houiller de Mons, bassin en quelque sorte classique par le grand nombre de couches qu'il renferme, par leurs variations régu-

Digitized by Google

lières de qualité, à mesure que l'on considère des couches plus profondes, et par les circonstances remarquables qu'y présente leur allure.

La figure est une coupe perpendiculaire à la direction moyenne des couches.

On distingue en allant du sud au nord :

La région des dressants et des plateurs ;

Celle des grandes plateurs, ou des combles du midi ;

*La naie*, ou fond de bateau, que forme le bassin considéré dans son ensemble ;

La région des grandes plateurs, ou des combles du nord.

Ce bassin est remarquable par l'empreinte qu'il conserve, malgré le relief très-peu accidenté du sol, des phénomènes violents de soulèvement d'abord, et ensuite d'érosion, dont il a été le théâtre. (Voir le texte n° **43**.)

Fig. 36. — N° **44**. — Coupe du bassin houiller de Liége, qui est, comme le précédent, un épanouissement de la grande zone carbonifère qui s'étend depuis le Pas-de-Calais jusque sur la rive droite du Rhin. Cette coupe fait ressortir certaines analogies et certaines différences entre les deux bassins de Liége et de Mons. (Voir le texte n° **44**.)

## Planche V. — Figures 37 à 39.

Fig. 37. — N° **45**. — Coupe partielle du bassin houiller de Newcastle. Ce bassin diffère essentiellement des précédents par un nombre de couches beaucoup moindre, par une puissance totale en charbon sensiblement inférieure, par un développement superficiel beaucoup plus grand (qui compense, et bien au delà, la moindre richesse par hectare), et enfin par des couches plus puissantes, beaucoup mieux réglées dans leur allure et d'une exploitation beaucoup plus facile.

Les seuls accidents importants sont des failles, dont une atteint jusqu'à 180 mètres, et a dû, lors de sa production, déterminer à

Digitized by Google

la surface une dénivellation que d'énormes érosions ultérieures ont fait entièrement disparaître.

Fig. 38. — N° **46**. — Cette figure est une coupe du bassin houiller de la Grand'Combe, le plus important, dans son ensemble, de tous ceux que renferme le midi de la France au sud du parallèle passant par Saint-Étienne.

Comme beaucoup de bassins houillers de France, il se distingue du bassin franco-belge par un moindre nombre et par une plus grande épaisseur individuelle des couches.

Les couches y sont généralement bien réglées, quoique affectées sur un point par un grand accident qui dépasse en importance ceux que nous avons signalés précédemment. Nous voulons parler du grand rejet accompagné de plissement qui vers l'est amène en regard l'un de l'autre les deux étages carbonifères, et auquel d'autres accidents moins importants semblent se subordonner. (Voir le texte n° **46**.)

Fig. 39. — N° **47**. — Coupe du bassin houiller de Ronchamp (Haute-Saône). Cette coupe est indiquée comme exemple d'un bassin houiller limité en étendue et en richesse, comparativement aux précédents, quoique ayant encore une grande importance locale. Ce caractère sporadique, en quelque sorte, qui a disséminé la richesse houillère sur un grand nombre de points dont la plupart n'ont individuellement qu'une importance secondaire et locale, est un trait qui distingue essentiellement le centre et le midi de la France de la partie septentrionale et des pays contigus.

## Planche VI. — Figures 40 et 41.

Fig. 40 et 41. — N° **48**. — Ces figures font connaître, en coupe et en plan, la disposition du système de filons exploité dans la mine Maria-Adalbert aux environs de Przibram (Bohême). (Voir le texte n° **48**.)

Digitized by Google

## Planche VII. — Figure 42.

Fig. 42. — N° **49**. — Cette figure montre, à une échelle réduite, l'ensemble des filons de l'Erzgebirge, aux environs de Freiberg. Ce système très-complexe renferme un très-grand nombre de filons qui se coordonnent à trois directions moyennes, et dans lesquels une étude attentive et persévérante, œuvre de plusieurs générations d'ingénieurs, a fait reconnaître jusqu'à huit périodes distinctes de remplissage. Quelques-unes de ces périodes semblent très-modernes. (Voir le texte du n° **49**.)

## Planche VIII. — Figures 43 à 47.

Fig. 43. — N° **50**. — Cette figure représente, à la même échelle que les figures 40 et 41, la mine du Cornouailles dite Fowey-Consols.

En rapprochant les figures 40 et 43, on voit sur deux exemples, qu'on peut à bon droit considérer comme classiques, la disposition générale que peut présenter un système de filons développés d'une manière normale. (Voir n^os^ **48** et **50**.)

Fig. 44. — N° **51**. — Cette figure et les deux suivantes se rapportent à des exemples de gisements en amas. La figure **44** donne deux coupes horizontales du gite houiller de Montchanin, formant un amas remarquable par ses dimensions, qui doit être considéré comme un renflement d'un ensemble de couches ayant, dans leur ensemble, la disposition en chapelet représentée figure 5.

Fig. 45. — N° **53**. — Coupe du gite de fer spathique du Stahlberg. Ce gisement est un exemple d'une disposition en forme d'amas qui caractérise souvent les filons de fer spathique, par exemple dans les Pyrénées, dans l'Atlas, etc., etc.

Digitized by Google

Fig. 46. — N° **54**. — Coupe du gisement de fer fort de Saint-Pancré (Moselle). Ce gisement est formé d'une série d'amas, remplissant des fentes plus ou moins irrégulières, ou épanchés à la surface. Ces amas sont, comme le gisement précédent, formés par un mécanisme analogue à celui des filons, tandis que les amas de Montchanin (n° **51**) et de Mokta (n° **52**) sont de véritables couches quant au mode de formation. La figure 46 représente en plan les différentes cavités mises à découvert par les travaux d'exploitation. On voit que, malgré leur dissémination, elles se coordonnent à certains alignements déterminés. (Voir le texte des n°s **51**, **52** et **54**.)

Fig. 47. — N° **76**. — Cette figure se rapporte à la théorie des *puits artésiens*, que l'on crée en établissant des trous de sonde qui aboutissent par le bas à des nappes aquifères formées par des couches perméables comprises entre des couches relativement imperméables.

Les faits sont entièrement d'accord avec cette théorie, et expliqués dans tous leurs détails par l'application des règles les plus simples de l'hydrostatique et de l'hydraulique. (Voir les n°s **70** à **79**.)

## Planche IX et X. — Figures 48 à 58 et 59 à 75.

Fig. 48. — N° **82**. — Cette figure et les suivantes, jusqu'à la figure 98, représentent les diverses parties de l'outillage spécial au sondeur.

La figure 48 représente un assemblage des tiges de sonde dit *à enfourchement*.

Fig. 49. — N° **82**. — Cette figure représente un assemblage à vis, préféré au précédent, bien que ne permettant pas de forcer en tournant dans les deux sens.

La préférence est due à l'absence de pièces mobiles (boulons et écrous) et à un assemblage plus prompt, qui peut toujours

Digitized by Google

être serré à fond, et qui, par conséquent, reste rigide, même quand les tiges se sont plus ou moins déformées par le travail. On voit, dans les deux figures ci-dessus (48 et 49), en dessous du nœud formé par un assemblage, une sorte d'embase qui sert, au moyen d'une clef, à suspendre une longueur quelconque de tiges au-dessus du trou. (Voir plus loin la légende de la figure 94).

Fig. 50. — N° **82**. — Assemblage des tiges de bois qu'on préfère assez souvent aux tiges en fer, dans les grands sondages, à cause de leur moindre poids, surtout lorsqu'elles sont immergées dans l'eau qui remplit toujours le trou en creusement.

Fig. 51. — N° **83**. — Joint à coulisse de Œynhausen, permettant de composer la tige qui manœuvre dans le trou de sonde, de deux parties, dont l'inférieure seule, portant l'outil, est soumise aux réactions que produit le choc de l'outil pendant le battage.

Fig. 52. — N° **84**. — Outil à chute libre de Kind : l'outil se détache au moment où les tiges commencent à redescendre sous l'action de la pesanteur.

Fig. 52 *bis*. — Autre outil à chute libre de M. Escher. (Voir pour les figures 52 et 52 *bis*, le texte du n° **84**.)

Fig. 53. — N° **84**. — Ensemble et détails de l'outil à chute libre de MM. Degousée et Laurent, qui fonctionne lorsque les tiges, dans leur mouvement ascendant, l'ont élevé à une hauteur donnée ; hauteur constante pendant une opération de battage, mais pouvant varier d'une opération à l'autre, en changeant les hauteurs du *poids mort* qui détermine le dégagement de la tête de l'outil.

Fig. 54. — N° **84**. — Outil à chute libre de M. Dru, qui détermine le dégagement de l'outil par l'effet de l'arrêt brusque contre un ressort limitant la course ascendante des tiges.

Digitized by Google

Fig. 55. — N° **85**. — Guide pour assurer la verticalité de la tige et l'empêcher de fouetter contre les parois du trou.

Fig. 56. — N° **85**. — Parachute limitant l'accélération de la tige, dans le cas où, par quelque fausse manœuvre, elle échapperait aux mains des ouvriers pendant la remonte ou la descente de l'outil.

Fig. 57. — N° **86**. — Tête de la sonde — permettant de faire tourner la sonde pendant le battage du trépan, de manière à forer un trou rond, même avec un simple tranchant.

Fig. 58 et 59. — N° **86**. — Systèmes un peu plus complexes que le précédent, mais permettant de maintenir toujours la tête à la même hauteur, pendant que le trou s'approfondit par le battage, jusqu'à ce que l'on ait la place de mettre une rallonge. On voit sur la figure 59 une disposition qui permet de mesurer à chaque instant avec une grande précision l'approfondissement obtenu par le battage.

Fig. 60 à 63. — N° **87**. — Différentes formes que peut recevoir *le trépan*, outil fondamental, au moyen duquel on fait le travail du battage, pour approfondir le trou.

Le trépan *simple*, figure 60, convient jusqu'à $0^m,25$ ou $0^m,30$ de diamètre en plus.

Le trépan *à téton* ou à *amorce*, figure 61, convient pour les roches dures, et des diamètres de $0^m,25$ à $0^m,50$ au plus.

Le trépan *à oreilles*, figure 62, a l'avantage de contribuer à l'alésage du trou ; mais il est d'une réparation difficile.

Le trépan *composé*, figure 63, indispensable aux diamètres de $0^m,50$ et au-dessus, a l'avantage d'être, au contraire, d'une réparation prompte et facile, quel que soit le diamètre du trou.

Fig. 64 et 65. — N° **88**. — Alésoirs servant à égaliser les parois du trou, et à l'agrandir dans les points où il a tendance à se rétrécir, par le foisonnement ou la poussée au vide de certains terrains.

Digitized by Google

Fig. 66 et 67. — N° **88**. — Élargisseurs, dits à coins, servant, soit comme les alésoirs à rendre à un trou rétréci ses dimensions primitives, soit plutôt à continuer un forage en contrebas d'un tube, sur un diamètre supérieur au diamètre intérieur de ce tube.

La figure 66 représente l'outil fermé pour passer à l'intérieur du tuyau ; la figure 67 le représente ouvert par l'action du coin et prêt à fonctionner, soit de haut en bas, soit de bas en haut, suivant les cas. L'ouverture se fait en exerçant sur le coin un effort de bas en haut avec une ficelle ; la fermeture en desserrant le coin, à l'aide de l'artifice spécial indiqué au n° **101**, page 132.

Fig. 68. — N° **88**. — Trépans rubanés agissant, comme les alésoirs, par une rotation lente, accompagnée de quelques petits mouvements de battage, pour traverser des sables légèrement agglutinés.

Fig. 69. — N° **88**. — Bonnet carré, ou casse-pierre, employé en cas de très-grande dureté, pour briser ou refouler sur le côté soit un fragment d'outil, soit quelque pierre dure rencontrée au fond du trou ou tombée des parois, comme un gros silex, par exemple.

Fig. 70 à 72. — N° **89**. — Types d'outils cureurs agissant par rotation, d'une manière assez analogue à celle des tarières qu'emploient les ouvriers qui travaillent le bois.

La figure 70 représente la cuiller, ou tarière, qui convient pour les débris ayant un degré de plasticité ordinaire.

La figure 71 représente la *tarière à glaise*, qui sert à curer les débris très-plastiques, ou même à entailler les terrains argileux qui les produisent.

La figure 72 est la *cuiller à trépan rubanné*, qui peut convenir pour les débris de consistance un peu sableuse. (Voir pour le détail le texte du n° **89**.)

Digitized by Google

Fig. 73 et 74. — N° **89**. — Type d'outils cureurs qu'on fait agir en les descendant au bout d'une corde et leur imprimant un mouvement de pompage. Ce sont les *cloches à soupape* et les *cloches à boulet*. Elles curent moins à fond que les cuillers dans le cas de terrains plastiques ; mais l'opération est beaucoup plus prompte, parce qu'on les descend à l'aide d'une corde qui file dans le trou d'une manière continue, et non à l'aide des tiges de la sonde.

Fig. 75. — N° **89**. — Outil cureur qui combine l'emploi de la soupape avec celui du trépan rubanné, et qui, par là, peut être applicable aux terrains sablonneux que la cuiller ne retiendrait pas convenablement.

## Planche XI. — Figures 76 à 91.

Fig. 76. — N° **90**. — Outil vérificateur, servant à constater après coup la nature des terrains qui ont été traversés à une profondeur quelconque. (Voir le texte du n° **90**.)

Fig. 77 à 79. — N° **90**. — Collection d'outils servant à *échantillonner*, c'est-à-dire à obtenir des morceaux des terrains traversés par le forage.

Les figures 77 et 78 représentent les outils aux moyen desquels on forme au fond du trou une rainure circulaire qui réserve une sorte de témoin plus ou moins long.

La figure 79 représente l'outil au moyen duquel on casse ce témoin et on le ramène au jour, après avoir pris les dispositions nécessaires pour pouvoir le repérer dans une position parallèle à celle qu'il occupait dans le trou avant d'être détaché, et déterminer ainsi, non-seulement la nature du terrain, mais encore son orientation dans le sein de la terre. (Voir le texte du n° **90**.)

Fig. 80 et 81. — N° **92**. — Exemples d'outils servant à ramener les tiges restées dans le trou, en cas d'accident.

Digitized by Google

La caracole (*fig.* 80), peut servir quand la rupture a eu lieu très-peu *au-dessus* d'un emmanchement ; la cloche à écrou (*fig.* 91) *peut servir* dans tous les cas, et est *nécessaire* quand la rupture a eu lieu un peu *au-dessous* d'un emmanchement. Le texte du n° **92** donne le détail de la manière dont fonctionnent ces deux appareils.

Fig. 82. — N° **92**. — *Tire-bourre*, servant à saisir la corde de la cloche à soupape, si elle est tombée accidentellement au fond du trou.

Fig. 83. — N° **92**. — Accrocheur à pince, *pouvant remplacer* la caracole et la cloche à écrou, et les *remplaçant nécessairement*, lorsque la rupture a eu lieu loin d'un emmanchement, et que la tige n'est pas calée dans le trou, de manière à ne pas pouvoir tourner trop facilement.

La première circonstance exclut en effet la caracole, et la seconde exclut la cloche à écrou.

Fig. 84. — N° **93**. — Ensemble et détails de l'assemblage des tuyaux de retenue au moyen de boulons et d'écrous. (Voir le texte du n° **93**.)

Fig. 85. — N° **93**. — Outil pouvant être employé pour faire la jonction des tuyaux de retenue, au moyen d'une rivure à froid remplaçant l'assemblage précédent.

Fig. 86 et 87. — N° **95**. — Outils servant à enfoncer une *colonne perdue*, pour la placer dans le trou à une hauteur voulue. Le premier outil se dégage par un mouvement semblable à celui que l'on fait pour ôter la baïonnette d'un fusil ; le second en tirant sur l'étai qui maintient les branches écartées, au moyen d'une ficelle dont l'extrémité libre est restée au jour pendant qu'on descendait la colonne. (Voir le texte du n° **95**.)

Fig. 88 et 89. — N° **95**. — Outils servant à enfoncer une co-

Digitized by Google

lonne de tubes qui se prolonge jusqu'au jour, en agissant à la fois par choc et par rotation.

La figure 88 représente une sorte de mouton, servant à frapper sur un bloc qui coiffe la partie supérieure des tubes ; la figure 89 est une *manivelle*, au moyen de laquelle on communique à la colonne des tubes un petit mouvement alternatif de rotation. Ces deux moyens d'action (le choc et la rotation) doivent être employés simultanément.

Fig. 90. — N° **95**. — Disposition dans laquelle le choc du mouton représenté ci-dessus (*fig.* 88), est complété dans ses effets ou remplacé par une pression continue. Cette disposition, qui permet de réaliser de très-grandes pressions, est nécessaire, lorsque la colonne à enfoncer a une grande longueur et une gran demasse.

Fig. 91. — N° **96**. — Arrache-tuyaux de Kind, ou *navette*. Cet instrument agit en se coïnçant fortement contre les parois, lorsque ayant été descendu à la hauteur voulue dans l'intérieur d'une colonne de tubes à arracher, on remonte à l'aide de cordes le cylindre qu'on a descendu plein de gravier avec l'instrument, et qu'ensuite on exerce une forte traction sur le câble de l'engin.

## Planche XII. — Figures 92 à 100.

Fig. 92. — N° **96**. — Arrache-tuyaux de d'Alberti, ou *arrache-tuyaux à coins*, fonctionnant sur un principe analogue à celui de l'outil précédent, sauf que le coinçage contre les parois du tuyau se fait par une série de coins en bois, au lieu de se faire par l'interposition de graviers.

Fig. 93. — N° **96**. — Exemple d'un appareil dit *coupe-tuyaux*, qui sert à découper la colonne en plusieurs parties, qu'on remonte successivement, si elle est trop longue et trop engagée



Digitized by Google

contre le terrain pour pouvoir être remontée d'une seule pièce. L'emploi de cet outil se combine avec celui de l'un des outils précédents.

Fig. 94. — N° **98**. — Clef de retenue, que l'on pose sur le plancher de manœuvre, pour arrêter les tiges qui pendent dans le trou, pendant les manœuvres successives d'assemblage et de désassemblage de leurs divers tronçons, lorsqu'il s'agit de descendre ou de sortir un outil.

Fig. 95. — N° **98**. — Grande clef de manœuvre pour assembler ou désassembler les tiges.

Fig. 96 et 97. — N° **98**. — Fausse tête et pied de bœuf, au moyen desquels on prend successivement chaque tronçon de tige, pour le suspendre au câble de l'engin, et descendre ou remonter le système des tiges de la quantité que permet la hauteur utile de l'engin.

Fig. 98. — N° **99**. — *Manivelle*, au moyen de laquelle on fait tourner la tige pendant le battage (voir le texte du n° **99**).

Fig. 99. — N° **108**. — Cette figure et les suivantes, jusqu'à la figure 104 inclusivement, représentent l'ensemble des installations au moyen desquelles on mettra en action, pour l'exécution d'un sondage, les différents appareils spéciaux décrits précédemment et représentés figures 48 à 98.

La figure 99 serait une installation très-sommaire, applicable à un sondage peu important. Les manœuvres se font exclusivement à bras, et ne permettent ni un battage énergique, ni une descente rapide des tiges.

Fig. 100. — N° **108**. — La figure représente une installation propre à un travail de sondage à la corde.

Elle a été employée dans une mine des environs de Saint-Étienne.

On sait que l'un des avantages revendiqués par les partisans

Digitized by Google

du sondage à la corde est la simplicité de l'installation, qui résulte de ce qu'on n'a pas besoin d'un point d'appui élevé, et de ce que le poids à manœuvrer, soit pendant le battage, soit pendant le relevage, est peu important. C'est ce qui explique le peu de hauteur de l'engin et la faiblesse des moyens d'action installés, soit pour le relevage, soit pour le battage.

## Planche XIII à XVI. — Figures 101 à 104.

Fig. 101 à 104. — N° **108**. — Les quatre planches XIII à XVI représentent des installations pour grands sondages, essentiellement distinctes de celles auxquelles se rapportent les deux figures 99 et 100, par leur ampleur et par la nature des moyens d'action employés.

Ces installations ont été employées, savoir :

Celle de la figure 101 pour le puits de Passy, par M. Kind.

Celle de la figure 102 pour le puits de la grande raffinerie de M. Say, au boulevard de la Gare, par M. Dru.

Enfin, celles des figures 103 et 104 pour les deux grands puits en cours de fonçage au compte de la ville de Paris, la première à la Butte-aux-Cailles, par M. Dru, et la seconde, à la Chapelle, par MM. Degousée et Laurent.

Sur la figure 101 (pl. XII), on voit en A, tant en plan qu'en coupe, les bobines portant les câbles plats qui servent à la manœuvre des tiges. Elles sont actionnées par une machine à vapeur horizontale à un seul cylindre. Les cables plats guidés par des rouleaux vont passer sur deux poulies, placées à une hauteur telle qu'on peut assembler et désassembler la tige par portions de 30 mètres.

En B est le levier de battage, ou levier à secteur, mû par un cylindre à vapeur spécial, au piston duquel il est relié par une chaîne de Galle. La figure indique la disposition du ressort élastique qui limite sa course.

C est le treuil de la cloche à soupape, mis en mouvement par la machine à vapeur au moyen d'une chaîne de Galle sans fin.

Digitized by Google

Le câble de la cloche passe sur une poulie D, portée par une chape à axe vertical, qui permet de la détourner pour laisser passer les câbles plats. Il est entendu que les bobines sont débrayées, lorsque la machine à vapeur actionne le treuil de la cloche à soupape. Inversement on débraye ce treuil lorsqu'on embraye les bobines.

Le puits, destiné à recevoir un diamètre de $0^m,60$ à l'intérieur du tubage définitif en bois, a été commencé sur un diamètre primitif de $1^m,10$.

L'outillage a permis de faire en dix mois 420 mètres environ de percement; mais ultérieurement le travail a été entravé par de nombreux accidents.

La figure 102 représente :

1° En A, le treuil pour la manœuvre des tiges, sur lequel s'enroulent, en sens contraire, les deux chaînes servant à la suspension des tiges. Une chape fixe à quatre poulies est placée au haut de l'engin, et la chaîne est attachée à la chape d'une poulie mobile, qui porte le crochet de suspension des tiges; la tension de chaque chaîne est ainsi réduite au tiers de la charge à soulever. Ce treuil est commandé, au moyen de courroies, par la machine à vapeur, qui est horizontale et à un seul cylindre;

2° en B, le levier de battage mû par un cylindre à vapeur spécial, au moyen d'une bielle attachée à la tige du piston. La queue du levier est limitée, dans la course ascendante, par un ressort élastique, et dans sa course descendante par un heurtoir contre lequel elle vient battre et dont le choc produit le déclanchement de l'outil (voir *fig.* 54 et n° **84**);

3° en C, le treuil, ou cabestan, de la cloche à soupape portant un câble en fil de fer.

La même transmission par courroie commande à volonté les treuils A et C, en déplaçant simplement un pignon au moyen d'une fourchette d'embrayage.

Le changement de marche se fait au moyen de deux courroies, l'une à brins parallèles et l'autre à brins croisés.

La figure 103 représente les mêmes dispositions générales que la figure 102, sauf que les divers appareils ont reçu plus d'im-

Digitized by Google

portance, le puits ayant été commencé sur 2 mètres de diamètre, et étant destiné à être poussé à une très-grande profondeur.

La figure 104, où les mêmes lettres ont la même signification que dans les précédentes, présente quelques dispositions différentes.

Ainsi le treuil de manœuvre porte une seule chaîne, et cette chaîne est disposée de manière que sa tension est la moitié de la charge soulevée.

Le battage se fait à l'aide de la même machine que le relevage des tiges. La commande du levier à secteur se fait au moyen d'une bielle et d'un plateau-manivelle percé d'une série de trous permettant de varier le rayon, selon la hauteur de chute qu'on veut donner à l'outil. L'outil se détache de lui-même, quand la manivelle est à son point mort inférieur, ou la tige de sonde à l'extrémité supérieure de sa course (voir n$^{os}$ **84** et **99**).

Le sondage a été commencé au fond d'un puits de 2 mètres de diamètre.

Les figures 101 à 104 sont extraites du *Bulletin de la Société d'encouragement* (année 1856), du *Portefeuille économique des machines* (année 1864), et des *Annales industrielles* (année 1869), publications auxquelles nous renvoyons, pour les détails plus étendus dans lesquels notre cadre ne nous permet pas d'entrer.

## Planche XVII. — Figure 105 à 120.

Fig. 105. — N° **112**. — Ces figures et les suivantes jusqu'à la figure 132 exclusivement, s'appliquent aux outils et procédés employés dans les travaux d'abattage.

Les figures 105 représentent diverses variétés de pioches à un ou à deux fers, employées dans le travail des roches dites ébouleuses. (Voir le texte du n° **112** pour les détails relatifs à la forme, au poids, à l'emmanchement, etc., de ces outils, détails qui ont tous leur importance.)

Digitized by Google

Fig. 106. — N° **112**. — Pelles, ou escoupes, employées pour le chargement.

Fig. 107. — N° **113**. — Épieu et masse employés pour faciliter les travaux de déblai à la pioche, lorsque le déblai doit se faire sur une hauteur notable.

Fig. 108. — N° **113**. — Élévation et coupe verticale d'un ouvrage à gradins, disposé pour exécuter un grand travail de déblai dans des roches ébouleuses, à l'aide des outils représentés figures 105 à 107.

Fig. 109. — N° **114**. — Outils pour le travail au pic des roches tendres.

A. Pic ordinaire.
B. Pic à rocher.
C. Pic à tête.
C'. Schrâmmhammer.
D. Pic à deux pointes, ou pic anglais.
E. Rivelaines.
F. Diverses formes de l'œil de l'outil.
G. Diverses formes de la pointe de l'outil (voir pour les détails le texte du n° **114**).

Fig. 110. — N° **114**. — Coins et masse, pour achever l'abattage des roches travaillées au pic.

Fig. 111. — N° **114**; — Aiguille liégeoise, pour abattre les roches travaillées au pic, dans des chantiers où le tirage à la poudre n'est pas possible à cause du gaz.

Fig. 112. — N. **115**. — Outil et trousse pour le travail de la pointerolle (*Schlägel und Eisen Arbeit*, des Allemands).

Fig. 113 à 114. — N^os **117** à **119**. — Outils pour le travail du tirage à la poudre dans les roches dures.

Digitized by Google

A. Fleurets, burins ou pistolets.
B. Massette pour le tirage à un homme.
B'. Masse pour le tirage à deux ou à trois hommes.
C. Drague pour le forage des trous de mine sans massette.
D. Curette.
E. Épinglette.
F. Bourroir.
(Voir le texte n^os **117** à **119**.)

La figure 114 représente les leviers, aiguilles ou pieds de biches, employés pour abattre les roches après l'explosion d'un fourneau. Ces outils sont souvent remplacés par le pic à rocher (B. *fig.* 109).

Fig. 115. — N° **119**. — Liaison d'une étoupille de sûreté avec la cartouche.

Fig. 116 à 117. — N° **121**. — Dispositions diverses proposées pour diminuer la quantité de poudre devant fonctionner dans un fourneau ou chambre, d'une hauteur donnée (voir le texte du n° **121**).

Fig. 118 et 118 *bis*. — N° **122**. — Outillage proposé pour élargir la chambre occupée par la charge. Cet outillage comprend un appareil élargisseur spécial, dont la figure 118 fait connaître la disposition, et un appareil pour le curage (*fig.* 118 *bis*). Ces outils ne peuvent fonctionner que dans un fourneau de mine à assez grande section. Leur but n'a rien d'ailleurs que de rationnel : ce but est d'obtenir un fourneau d'un diamètre donné, sans avoir à forer le trou de mine, à ce diamètre, sur toute sa longueur.

Fig. 119. — N° **124**. — Figure géométrique servant à expliquer l'influence des dimensions du trou sur l'effet utile, rapporté soit au travail du forage, soit à la dépense de poudre (voir le texte du n° **124**).

Fig. 120. — N° **125**. — Figure géométrique servant à établir l'a-

Digitized by Google

vantage du tir simultané de deux coups de mine (voir le texte du n° **125**).

## Planche XVIII. — Figures 121 à 125.

Fig. 121 et 122. — N° **131**. — Dispositions employées pour entailler à l'aide du feu les roches très-tenaces ou récalcitrantes.

Les figures représentent les dispositions adoptées pour pousser un avancement, élargir un chantier, et faire une cheminée montante.

Le travail du feu n'est qu'une opération préparatoire, à compléter par le travail à la poudre.

Fig. 123. — N° **132**. — Cartouches de M. Guibal, pour remplacer l'action de la poudre par celle d'une pression hydraulique.

Les figures représentent l'ensemble de l'appareil et le détail du petit sac de caoutchouc qui, retourné à ses deux extrémités, forme deux joints hydrauliques autoclaves.

Fig. 124. — N° **133**. — Entaillement des roches solubles à l'aide de l'eau.

Fig. 125. — N° **134**. — Exemple d'un chantier à ciel ouvert, dans lequel la roche est, à la fois, assez solide lorsqu'elle est en masse, et assez déliteuse lorsqu'elle s'éboule, pour qu'il y ait avantage à procéder par de grands abattages.

## Planche XIX. — Figures 126 à 132.

Fig. 126 à 128. — N° **135**. — Exemples de galeries au rocher exécutées dans une roche solide non déliteuse.

La figure 126 donne la coupe et le profil en long d'une galerie à petite section, exécutée par le procédé ordinaire du tirage à la poudre.

Le profil en long fait ressortir la disposition de *l'avancement*

Digitized by Google

et du *stross*, ou *rebanché*, qui a pour objet de permettre le travail simultané d'un plus grand nombre de mineurs, et en même temps de faciliter ce travail.

La figure 127 est la même galerie, avec la modification que peut produire dans la conduite du travail l'emploi de la dynamite.

La figure 128 donne la coupe d'une galerie à grande section, exécutée par un avancement au cerveau de la voûte, deux battages au large et deux gradins droits.

Les numéros marqués sur cette figure indiquent l'ordre dans lequel les travaux ci-dessus sont exécutés.

Fig. 129. — N° **136**. — Exemple d'un puits de mine exécuté dans une roche de même nature que celui des figures 126 à 128.

La coupe représentée offre une disposition qui a le même objet que l'avancement et le stross de la figure 126.

Fig. 130. — N° **137**. — Exemple d'une grande taille dans une couche même de houille.

On peut distinguer :

En A, l'élévation de la taille, sur laquelle sont figurés les divers havages, séparés sur le devant par de petits massifs de houille qu'on réserve pour empêcher la chute prématurée du charbon, les deux entailles, et enfin les trous faits au toit pour effectuer la tombée à l'aide de coins ou à l'aide de coups de mine ;

En B, le plan de la même taille, supposée être une taille montante :

En B′, le plan de la même taille, supposée avoir un front *parallèle* au clivage de la houille, et *oblique* sur la direction suivant laquelle elle est poussée.

Fig. 131 et 132. — N° **138**. — Exemples de chantiers poussés dans des couches puissantes de houille. La figure 131 représente un gradin droit et la figure 132 un gradin renversé (voir le texte du n° **138**, pour la comparaison entre ces deux ouvrages, qui ont respectivement leurs avantages et leurs inconvénients très-marqués).

Digitized by Google

## Planche XX. — Figures 133 à 136.

Fig. 133. — N° **150**. — Cette figure et les suivantes, jusqu'à la figure 144, se rapportent aux matières traitées dans le chapitre VI (application des moyens mécaniques à l'abattage.)

La figure 133 représente la tarière avec laquelle on fait les trous de mine, en agissant par rotation, dans les roches tendres telles que les gypses des environs de Paris.

Fig. 134. — N° **149**. — Perforateur Lisbet agissant par rotation, comme la tarière à main représentée figure 133, mais apte à fonctionner dans des roches plus dures que le gypse. Ce perforateur convient pour les terrains houilleux *tendres et schisteux* où il accélère notablement le travail du forage d'un trou de mine. Son emploi est d'autant moins indiqué que la roche est plus dure (voy. le texte du n° **149**).

Fig. 135. — N° **150**. — Perforateur Leschot. Cet appareil, à l'exclusion de tous ceux où l'on n'emploierait que l'acier, peut agir par rotation dans des terrains durs et siliceux. L'outil est creux et disposé à son extrémité en forme d'une couronne garnie de diamants noirs. Cette forme creuse diminue beaucoup le travail de rodage de l'instrument, parce qu'elle laisse subsister dans l'axe du trou un témoin qu'il est facile d'arracher.

Contrairement au perforateur Lisbet, le perforateur Leschot convient surtout aux terrains très-durs.

Fig. 136. — N° **151**. — Dessin d'ensemble de la haveuse proposée par M. Gay, applicable à des terrains tendres, tels que la houille, certains minerais de fer, les marnes solfifères, etc., etc. Elle agit par un mouvement de rotation, sur un des bords de la sous-cave, qu'elle élargit successivement à chaque passe de l'outil. Le poids qui détermine la pression de l'outil contre le bord de l'entaille n'est pas représenté sur la figure.

Digitized by Google

## Planches XXI et XXII. — Figures 137 et 138, et 139 à 141.

Fig. 137. — N° **153**. — Haveuse de M. Delahaye, agissant par percussion, pouvant également faire les entailles et les trous de mines.

L'objet de l'appareil est de supprimer la fatigue qui résulte pour l'ouvrier, de ce qu'il a, dans les procédés ordinaires, à supporter le poids de son outil, et de ce que cet outil a trop de masse et prend trop de vitesse.

Fig. 138 et 139. — N° **155**. — Ces figures et les suivantes, jusqu'à la figure 144, se rapportent à l'emploi de moteurs naturels autres que l'homme, pour l'exécution des travaux d'abattage.

Les figures 138 et 139 représentent des haveuses dont l'emploi se répand beaucoup en Angleterre depuis quelques années.

La figure 138 représente une vue d'ensemble de la haveuse de MM. Carrett and Marshall, qui est mue par une chute d'eau.

La figure 139 se rapporte à celle de MM. Jones and Levick, qui est mue par l'air comprimé.

L'emploi principal de ces appareils est dans les mines de houille. On les applique également dans les mines de fer du Cleveland.

Cet emploi suppose des couches bien réglées, suffisamment puissantes, et, en outre, assez résistantes et possédant un toit assez solide pour qu'on puisse les exploiter par un système de grandes tailles, en tenant les boisages suffisamment en arrière du front des chantiers.

Hors de ces conditions, *qui seront très-rarement réunies dans les houillères françaises*, il n'y a pas à songer à leur emploi.

Il est vraisemblable qu'elles pourraient être employées dans les mines de fer des départements de l'Est, comme elles le sont dans les mines similaires du Cleveland.

(Voy. le texte du n° **155**.)

Digitized by Google

Fig. 140. — N° **158**. — Perforateur Leschot et Perret. L'outil fonctionne sur le même principe que celui de la figure 135, sauf qu'il est mû mécaniquement, à l'aide d'un récepteur qui n'est autre chose qu'une petite machine à colonne d'eau de rotation.

La figure représente l'appareil récepteur et sa transmission de mouvement jusqu'à la tige de l'outil.

On profite de l'eau en pression pour simplifier beaucoup l'appareil mû à bras, en supprimant les organes du mouvement de translation dans le sens de l'axe de l'outil. L'outil est simplement maintenu contre le fond du trou par une pression constante due à la chute d'eau, que l'on est maître de régler par un jeu de robinets, selon la nature du rocher, en dessous d'un maximum donné. Cette même eau en pression est introduite dans l'axe de l'outil qui est creux, et employée à expulser à chaque instant les boues formées par l'action des diamants sur le rocher.

Fig. 141. — N° **160**. — Perforateur Sommeiller, employé aux travaux de percement du mont Cenis.

La figure représente, en plan et en coupe, le dernier modèle adopté, après de nombrenx perfectionnements successifs.

Il est parfaitement automatisé dans toutes ses fonctions; mais il serait trouvé un peu long et un peu lourd, pour des galeries de mines qui n'auraient que les dimensions ordinaires.

Outre le cylindre A pour la percussion, on distingue sur la figure, en B, la petite machine spéciale qui commande les divers mouvements accessoires que comporte l'emploi de l'appareil.

A cet effet, cette machine auxiliaire, dont on règle la vitesse à volonté, commande par une roue d'angle, un long arbre MN qui occupe la longueur du bâti.

On remarquera :

En C, l'espèce de came qui, en agissant sur un goujon, règle la distribution dans le cylindre A ;

En D, le système de roues à rochet qui transmet, au moyen d'un excentrique, le mouvement de rotation à l'outil ;

En EE′, le mécanisme qui communique à l'ensemble de l'ap-

Digitized by Google

pareil un mouvement de translation le long de ses longerons, lorsque le tasseau *t* vient, à la fin de la course, butter contre la fourche *f*. Le mouvement de cette fourche vient faire manœuvrer un manchon d'embrayage *m*, qui fait alors tourner la vis sans fin V. Cette vis, folle sur la tige T, commence à tourner en engrenant avec la partie interne des longerons qui est filetée, et fait avancer ainsi tout le système ;

Enfin en FF′, le mécanisme qui sert à imprimer le mouvement de recul à tout l'appareil quand il s'agit de changer d'outil. L'engrenage intermédiaire F′ sert à renverser le mouvement de rotation du chariot porte-outil, celui de l'arbre MN restant constant.

La disposition qui consiste à rendre la percussion indépendante des autres fonctions de la machine, imprime à l'appareil Sommeiller un caractère particulier qui la complique un peu, mais qui a divers avantages et qui, notamment, présente des facilités de fonctionnement très-appréciables.

Ainsi, l'appareil s'adapte très-bien aux diverses nature de rocher, qui peuvent demander de faire varier les conditions de rotation et de percussion.

Il eût été facile d'ailleurs, comme on l'a fait souvent dans d'autres appareils du même genre, d'emprunter le mouvement de tous les organes auxiliaires au mouvement rectiligne alternatif du piston percutant.

## Planche XXIII. — Figures 142 et 143.

Fig. 142. — N° **161**. — Affût sur lequel sont montés les appareils décrits ci-dessus.

La figure représente l'affût disposé pour recevoir 8 perforateurs. Ce nombre a été ultérieurement porté jusqu'à 14.

L'affût est une sorte de grand chariot allongé, qui porte à l'avant les supports des perforateurs. Ces supports se composent de manchons qui peuvent monter ou descendre, sans tourner, le long de grosses vis V, portées par l'un des longerons supérieur

Digitized by Google

ou inférieur. Le manchon projette, à l'intérieur ou à l'extérieur, un bras fileté sur lequel se trouve un autre manchon, muni d'un œil servant, à l'aide d'un boulon, à fixer l'arrière du perforateur. Ce second manchon peut glisser le long du bras, et la face d'appui du perforateur prendre ainsi diverses inclinaisons.

Un système de vis V′, semblable aux vis V, sert, au moyen d'autres manchons, à porter l'avant des perforateurs. A cet effet, le bras projeté par le manchon, au lieu d'être fileté, présente un évidement dans lequel on fixe, à l'aide de deux boulons, une fourche qui reçoit les deux longerons du perforateur.

De cette manière, on conçoit qu'en déplaçant les manchons des vis verticales et les points d'attache du perforateur sur les bras, on puisse, dans certaines limites d'amplitude, placer chaque appareil dans un plan vertical déterminé, et lui donner, dans ce plan, une inclinaison également déterminée.

A l'arrière de la partie de l'affût qui porte les perforateurs se trouvent deux compartiments : l'un sur lequel on place les outils de rechange et qui porte le tuyau dit clarinette amenant l'air aux perforateurs, au moyen de branchements indépendants formés de tuyaux en caoutchouc; l'autre qui sert d'atelier pour les petites réparations qui peuvent être faites sur place.

L'affût porte encore deux mécanismes qui servent, l'un à le faire mouvoir à bras pour l'amener avec précision à la distance voulue du front de taille, l'autre à le fixer invariablement dans la position qu'on lui a donnée.

Le premier, placé à l'essieu des roues d'arrière, consiste en un système d'engrenages et une roue à poignée, à l'aide desquels on imprime à l'essieu un mouvement lent de rotation.

Le deuxième mécanisme, placé aux deux roues d'avant qui sont indépendantes, sert à abaisser le chariot relativement à ces roues, en le faisant tourner autour de l'axe des roues d'arrière, de manière à faire mordre dans le sol deux espèces de grappins dont sont munis à l'avant les longerons inférieurs.

L'affût décrit ci-dessus a 9 mètres de long, $1^m,08$ de large et $1^m,90$ de haut. Il pèse 8,000 kilogrammes. Ce grand poids est

Digitized by Google

favorable à la stabilité de tout le système, qui subit d'assez fortes réactions par le fait du jeu des appareils perforateurs.

Fig. 143. — N° **162**. — Cette figure montre en A la section en forme de Z qu'il convient de donner au tranchant des fleurets mus mécaniquement, afin d'être assuré de faire un trou de mine bien rond et non en forme de triangle ainsi qu'il est indiqué en B (voir le texte du n° **162**).

## Planche XXIV. — Figure 144.

Fig. 144. — N° **166**. — Perforateur de MM. François et Dubois. Cet appareil est le dernier qui se soit produit. Il est simple et d'un emploi commode.

La disposition de cet appareil, dans son ensemble, rappelle beaucoup l'appareil Sommeiller, dont il dérive en effet.

Mais il en diffère, au fond, par les mécanismes de la distribution et de la rotation, qui sont tout à fait spéciaux, bien qu'entièrement automatiques comme dans l'appareil Sommeiller, et par le mécanisme de l'avancement de l'appareil percusseur sur son châssis, qui est conduit par la main de l'ouvrier.

La distribution se fait au moyen d'un tiroir ordinaire lié à deux pistons A et A′, de diamètres inégaux. Le plus grand de ces deux pistons, le piston A′, est traversé par un petit canal qui permet à la pression de l'air comprimé de s'égaliser sur sa face interne et sur sa face externe. Par suite, le tiroir se meut dans un sens ou dans l'autre (de droite à gauche ou de gauche à droite), suivant que la pression de l'air comprimé *s'établit* ou *est supprimée* sur la face externe.

La pression établie par l'intermédiaire du petit canal est subitement supprimée lorsqu'un bourrelet, fixé sur la tige du piston percusseur vient ouvrir la soupape dont est munie la capacité qui communique avec la face externe du piston A′.

La rotation du fleuret est donnée par le jeu alternatif de deux

Digitized by Google

cames soulevées par deux petits pistons à simple effet, sous chacun desquels on fait arriver successivement l'air en pression.

Enfin l'avancement est obtenu à l'aide d'un petit volant à manivelle, qui est mû à la main selon la vitesse d'approfondissement du trou.

On fait varier ainsi autant, qu'on le veut, la course du fleuret en dessous de son maximum, ce qui permet de l'approprier à des roches de dureté différente.

Le nombre des coups est réglé par la section du petit canal qui traverse le piston A′; plus ce canal est grand, plus vite l'équilibre est établi entre les deux faces de ce piston, et plus vite le fleuret est ramené en arrière après avoir choqué contre le fond du trou.

Les figures de la planche **XXIV** représentent l'ensemble et les détails du perforateur, ainsi que son affût, qui rappelle, sous une forme plus compacte et avec une grande réduction de poids appropriées à un ouvrage moins important, l'affut employé au mont Cenis par M. Sommeiller.

## Planche XXV. — Figures 145 à 151.

Fig. 145. — N° **176**. — Hache de boiseur, outil spécial de l'ouvrier boiseur, qui doit être d'ailleurs, en outre, plus ou moins familier avec les outils du piqueur et du mineur au rocher.

Fig. 146 et 147. — N° **178**. — Figures représentant une butte, ou chandelle, posée dans un chantier pour en soutenir le toit.

On remarquera les dispositions prises pour mettre cette butte en charge, tout en donnant au système une certaine élasticité, qui permet, au besoin, un premier petit mouvement du faux toit, sans qu'il en résulte nécessairement la rupture immédiate de la butte.

Fig. 148. — N° **179**. — Butte ou chandelle, en fonte, employée en Angleterre, dans les tailles où l'on déboise en arrière, soit

Digitized by Google

au moment où l'on remblaye, soit lorsqu'on veut régulariser la chute du toit. Ces buttes sont souvent composées de deux pièces, comme le représente la figure, afin de faciliter leur desserrage et leur enlèvement.

Fig. 149. — N° **180**. — Ensemble et détails du système de *bottes* employées dans quelques mines du département du Nord, pour remplacer les chandelles en bois ou en fonte représentées par les figures 146 à 148 (voir le texte du n° **180**).

Fig. 150 et 151. — N° **181**. — Boisage complet d'une taille, au moyen de *bois de taille* supportant des *rallonges* qui servent à appuyer contre le rocher les *garnissages*, ou *esclimbes*, que peut nécessiter ce rocher quand il est très-friable et très-ébouleux.

La figure 150 représente une taille en plateur, la figure 151 une taille droite ; l'une et l'autre sont *chassantes*, c'est-à-dire menées suivant la direction, ou avec un front parallèle à l'inclinaison.

On remarquera que la taille droite présente des garnissages sur le mur comme sur le toit de la couche. On est souvent obligé d'en agir ainsi dans les couches très-dressées dont le mur est une roche friable.

## Planche XXVI. — Figures 152 à 159.

Fig. 152. — N° **182**. — Cette figure représente la section transversale et la coupe longitudinale d'une galerie de mine boisée au moyen de cadres complets (voir le texte du n° **182**, qui donne la nomenclature des pièces dont ce cadre est composé, et des détails sur leur mise en place).

Fig. 153 et 154. — N° **183**. — Manière dont les cadres ordinaires peuvent être renforcés, soit par des *tendards* placés horizontalement, soit par des *chandelles* placées verticalement, lors-



Digitized by Google

qu'on est conduit à augmenter la hauteur ou la largeur d'une galerie par quelque motif spécial, tel que la nécessité de réserver un compartiment pour l'épuisement ou pour la ventillation, d'établir un croisement pour le roulage, etc.

Fig. 155. — N° **183**. — Deux exemples des formes diverses que les boiseurs peuvent et doivent donner à leurs assemblages, selon le sens dans lequel ils supposent que la pression du rocher se fera principalement sentir.

Le n° 1 convient au cas où la pression s'exercerait principapalement de haut en bas sur le chapeau ; le n° 2 au cas où la pression viendrait principalement sur le côté. (Le principe à suivre, en général, est de s'arranger pour intéresser la section entière de la pièce qui doit surtout résister longitudinalement.)

Fig. 156. — N° **183**. — Exemple du boisage d'une galerie d'allongement, réservée sous un massif exploité, dans un filon à épontes solides.

On remarquera que, par le motif indiqué au n° **177**, le chapeau, auquel le cadre de boisage est ici réduit, n'est pas tout à fait normal au plan du gîte.

Fig. 157 à 159. — N° **184**. — Ces figures donnent, en plans et en coupes transversale et longitudinale, des exemples de boisage de galeries en mauvais terrain ; depuis un terrain simplement ébouleux (*fig.* 157) jusqu'aux terrains coulants, presque fluides (*fig.* 159).

Le travail, dont les détails sont donnés au n° **184**, a toujours pour principe d'essayer de retenir le terrain, autant qu'il est nécessaire, pour n'avoir à extraire que la quantité qui correspond au vide utile de la galerie et à l'espace occupé par les bois.

Tout ce qu'on extrait en sus est *inutile*, au point de vue du résultat à obtenir, et même *essentiellement nuisible*, en ce qu'il tend à mettre le terrain en mouvement, et à rendre ainsi le travail plus difficile et les réparations plus coûteuses.

Digitized by Google

## Planche XXVII. — Figures 160 à 169.

Fig. 160. — N° **185**. — Boisage provisoire d'un puits destiné à être muraillé (voir le texte du n° **185**).

Fig. 161 et 162. — N° **186**. — Exemple de boisages définitifs pour puits rectangulaires : la première figure suppose des cadres espacés les uns des autres et formés de pièces équarries, la seconde les suppose jointifs et formés de rondins.

Fig. 163. — N° **186**. — Cette figure montre comment on peut pratiquer une entaille dans le côté d'un cadre qui doit recevoir un bois d'entre-fend, pour satisfaire à la double condition d'affaiblir le cadre le moins possible et d'utiliser toute la section du bois d'entre-fend, pour résister à la poussée du terrain sur le cadre (voir n°s **182** et **186**).

Fig. 164 et 65. — N° **187**. — Boisage d'un puits en terrain coulant. Ces figures sont des coupes verticales parallèles au grand côté et au petit côté du puits.

Le principe du travail est le même que celui qui a été indiqué ci-dessus pour les figures 157 à 159, c'est-à-dire qu'on doit s'efforcer de retenir le terrain et de n'en enlever, autant que possible, que ce qui est nécessaire pour l'exécution du travail.

Fig. 166. — N° **191**. — Combinaison du boisage et du muraillement à pierres sèches, pour une galerie à maintenir au milieu de remblais.

Les bois neufs sont employés pour faire les chapeaux ; les vieux bois le sont, soit à l'état de *parpaings* pour lier la maçonnerie sur toute son épaisseur, soit à l'état de *semelles*, ou *sablières*, pour répartir la pression que supportent les chapeaux (voir la figure ainsi que le texte du n° **191**).

Digitized by Google

Fig. 167. — N° **192**. — Muraillement ordinaire d'une galerie de mine, avec pieds-droits en moellons et voûte en briques.

Fig. 168. — N° **193**. — Tracé géométrique d'une courbe à plusieurs centres, formant la section d'une galerie de mine muraillée. Le demi-profil BCHD est tracé à l'aide de trois arcs de cercle BC, CH, HD, qui se raccordent en C et en H, et dont les centres sont respectivement aux points O O′ O″.

Quant au radier, si on veut le former d'un arc de cercle se raccordant en B avec l'arc $BC_1$, le centre de cet arc est en O‴ intersection de BO et de DD′, si l'on veut remplacer cette condition de raccordement par celle que l'arc ait une flèche donnée D′D″, son centre est O$^{IV}$ intersection avec la même ligne DD′ de la perpendiculaire élevée sur le milieu de BD″.

Fig. 169. — N° **195**. — Muraillement immédiat d'une galerie en mauvais terrain, au moyen de cadres et de palplanchers en fer.

Les figures donnent la coupe en long de la galerie, et les principaux détails des cadres et des palplanches employés au travail de l'avancement (voir le texte du n° **195**).

On rappelle que, sauf l'échelle du travail et sauf les variantes que la différence d'échelle entraîne dans les détails, ce système de muraillement immédiat procède du même principe que celui qu'a suivi Brunel dans l'établissement du tunnel sous la Tamise.

## Planche XXVIII. — Figures 170 à 184.

Fig. 170 à 180. — N° **196**. — Exemples divers de galeries d'allongement muraillées.

Ces muraillements ont des dispositions différentes, selon les circonstances dans lesquelles les galeries sont supposées tracées.

La figure 170 se rapporte au cas où la galerie d'allongement est dans un filon vertical assez mince et à épontes solides ; les chapeaux de la figure 156 destinés à porter des remblais sont remplacés ici par une voûte surbaissée, dont les coussinets sont

Digitized by Google

taillés plus ou moins obliquement dans les épontes, selon la dureté de celles-ci et la grandeur de la charge.

La figure 171 suppose l'une des parois de la galerie un peu déliteuse, ne fournissant pas d'appui solide à la voûte et ayant même besoin d'être soutenue.

En 172, on suppose une disposition analogue, avec cette différence que la nature déliteuse est commune aux deux épontes.

En 173, on suppose que la galerie d'allongement doit être, en même temps, une galerie d'écoulement.

Le muraillement est complet, et le radier forme cunette pour retenir les eaux et les empêcher de s'infilter dans la masse plus ou moins perméable du filon. Une ligne de planches clouées sur des traverses forme, au-dessus du niveau de l'eau, la voie sur laquelle on circule dans la galerie.

Les figures 174 et 175, plus ou moins analogues à la fig. 171, supposent la première un filon pourri et un mauvais mur, la seconde un mauvais toit.

Dans la figure 176, on suppose qu'on ne peut compter ni sur la roche du toit, ni sur la masse du gîte, pour trouver un point d'appui solide, et l'on reporte dans le mur même la fondation sur laquelle doit reposer le revêtement du toit.

Les figures 177 et 178 sont d'autres manières de résoudre la difficulté signalée à la figure précédente. Elles s'appliqueront convenablement aux cas où le filon serait ou assez puissant, ou assez rapproché de la verticale, et elles éviteront alors d'aller chercher trop loin un point d'appui pour la fondation du revêtement du toit.

La figure 179 se rapporte, comme la figure 170, à un filon mince, très-dressé, et à épontes solides ; la différence entre les deux cas est qu'ici on suppose ces épontes *extrêmement dures*; on ne les entaille donc que de place en place, pour poser une série de bandeaux isolés, qui servent, à leur tour, à appuyer des portions de voûtes jetées longitudinalement d'un de ces bandeaux à l'autre.

La figure 180 représente le même système, établi, non au faîte, mais à la sole de la galerie d'allongement considérée :

Digitized by Google

c'est ce que l'on pratique très-convenablement, si l'on doit enlever les piliers qui sont en aval-pendage de la galerie, et, en même temps, conserver la sole de celle-ci parfaitement intacte, soit pour le roulage, soit surtout pour retenir les eaux.

Fig. 181. — N° **198**. — Exemple du muraillement ordinaire d'un puits de mine en terrain assez solide, permettant de procéder par une série de reprises successives, exécutées dans l'ordre descendant, et portées chacune sur un système convenable de roulisses.

Fig. 182. — N° **199**. — Cette figure suppose le terrain moins solide que dans le cas précédent. La consistance du terrain est telle qu'une roulisse, même colletée au ferme et soutenue sur une corniche, ne supporterait pas sûrement le poids de la maçonnerie dont on la surmonte. Il faut avoir alors quelque moyen de relier successivement ces roulisses à des points d'appui supérieurs. La figure 182 représente une des dispositions qui peuvent être avantageusement employées à cet effet. Les divers corbeaux qui surplombent dans le puits et fournissent ces points d'appui, sont de longues pièces de bois noyées dans la masse du terrain, qui ne pourraient descendre sans que le terrain lui-même descendît en masse.

Fig. 183 et 184. — N° **201**. — Ces deux figures se rapportent au cas où le terrain est devenu tout à fait ébouleux, et où l'on veut murailler immédiatement le puits.

Le système consiste alors à construire, sur le fond d'une première excavation boisée, une tour en maçonnerie portée sur un rouet armé d'un sabot tranchant (qu'on appelle une trousse coupante), et à allonger cette tour par le haut, tandis qu'on l'enfonce dans le terrain.

Des dispositions sont prises pour bien relier les diverses parties de la tour et pour empêcher la maçonnerie de se disjoindre en frottant contre le terrain.

A cet effet, des roulisses en bois, liées les unes aux autres par

Digitized by Google

des tirants, sont intercalées de distance en distance dans la maçonnerie, et sur les tranches de ces roulisses sont cloués des madriers allant de l'une à l'autre, formant un revêtement continu qui empêche le contact du terrain et de la maçonnerie.

Ce système est usité en Silésie et en Wesphalie, même pour des puits de grand diamètre, jusqu'à 40 et 50 pieds de profondeur (voir le texte du n° **201**).

Les figures 183 représentent le travail à deux degrés d'avancement ; dans l'une, on vient de mettre en place une nouvelle roulisse et le coffrage en bois qui la relie à la précédente ; dans l'autre, la hauteur de ce coffrage a été maçonnée, et l'on s'occupe de faire descendre la tour.

La figure 184 représente à une plus grande échelle une disposition de trousse coupante. Cette disposition peut être variée de diverses manières.

## Planche XXIX. — Figures 185 à 190.

Fig. 185. — N° **205**. — Embranchement ordinaire de deux galeries, dans lequel, pour éviter la sujétion d'une voûte d'arête au point de croisement, on se borne à exhausser la galerie principale, de manière que la voûte cylindrique de l'embranchement ne pénètre que dans le pied-droit de cette galerie.

Fig. 186. — N° **206**. — Plan et coupe d'une recette, ou place d'accrochage, dans un puits boisé. La recette est supposée n'avoir qu'une largeur qui, eu égard à la solidité du terrain, permet de la boiser avec des cadres ordinaires.

Fig. 187. — N° **207**. — Les cadres en bois de la figure précédente sont remplacés par deux murs épais en bonne maçonnerie, qui supportent, par l'intermédiaire de fortes sablières, une série de chapeaux formés par des fers à T, ou par des rails de grande voie. Ces chapeaux sont légèrement courbes, comme l'indique la figure, et convenablement entretoisés. Quand il y a

Digitized by Google

lieu, on emploie pour garnissage, au-dessus de ces chapeaux, des petits rails de mines.

Fig. 188. — N° **207**. — Autre exemple des dispositions que l'on peut prendre pour un accrochage, point dont il est très-important d'assurer la solidité, et qui fatigue beaucoup.

La figure représente un arceau en bois; le soutènement se fait par une série d'arceaux semblables qui forment un revêtement discontinu très-solide, se prêtant mieux qu'une maçonnerie ordinaire aux petits mouvements qu'il n'est pas toujours possible d'éviter.

Fig. 189. — N° **208**. — Exemple d'une recette dans un puits rond muraillé.

Cette disposition est celle qu'on employait dans le Nord et en Belgique, lorsqu'on extrayait par grands *cuffats* chargés à la recette et vidés au jour.

Fig. 190 — N° **211**. — Cette figure représente une chambre de roue hydraulique établie sur un filon, pour y faire un service d'extraction ou d'épuisement. On trouve de nombreux exemples de cette disposition dans les mines métalliques, surtout en Allemagne. La figure suppose qu'il s'agisse d'une roue à augets. La chambre est un espace de forme lenticulaire placé perpendiculairement à la direction du gîte. Le terrain est supposé assez solide pour se soutenir sans muraillement. On se borne à murailler d'une éponte à l'autre du filon, dans le plan de chacune des grandes faces de la chambre, et c'est dans cette maçonnerie que sont ménagés les vides qui reçoivent les coussinets destinés à porter les tourillons de la roue.

## Planche XXX. — Figures 191 à 193.

Fig. 191. — N° **211**. — Chambre de roue hydraulique, établie comme la précédente, mais dans un terrain moins solide, qui

Digitized by Google

exige que l'excavation soit entièrement muraillée. On remarquera que le muraillement des grandes faces de la chambre n'est pas plan, mais légèrement cylindrique, pour résister à la poussée au vide que manifestent toujours de larges parois de rocher.

Fig. 192. — N° **219**. — Coupe transversale d'un tunnel à grande section, exécuté en mauvais terrain. La coupe est faite à un moment où une reprise est entièrement boisée, à l'aide de bois de dimension ordinaire, roidis par un système convenable d'extraits.

On est prêt à commencer le muraillement de cette reprise ; les gabarits pour le radier et pour la partie inférieure des pieds-droits sont déjà posés.

Fig. 193. — N° **221**. — Les figures 193 représentent, dans ses phases principales, le système à suivre pour agrandir la section d'un tunnel, qui aurait été établi, par exemple, pour un chemin de fer à une voie, et qu'on voudrait ultérieurement mettre à deux voies.

A. Section primitive du tunnel ; le plancher de sûreté est déjà en place, sans que le travail d'agrandissement proprement dit soit commencé ;

B. Travail d'exhaussement et d'élargissement fait au cerveau de l'ancienne voûte et sur le côté, pour préparer l'emplacement de la nouvelle voûte ;

C. Pose de cette nouvelle voûte, d'un côté sur le rocher, soit directement, soit par l'intermédiaire de sablières, de l'autre sur le pied-droit de l'ancien muraillement ;

D. Battage au large, au niveau des rails, après achèvement de la voûte et enlèvement du plancher de sûreté, pour venir reprendre en sous-œuvre la nouvelle voûte, du côté où elle repose sur le rocher. On peut ensuite, si l'on veut, reprendre, de l'autre côté, le pied-droit de l'ancienne voûte.

Ce système permet de continuer le service du chemin de fer pendant toute la durée du travail (voir le texte du n° **221**).

Digitized by Google

## Planche XXXI. — Figure 194 à 198.

Fig. 194. — N° **226**. — Plan, coupe et détails relatifs à l'exécution d'un cuvelage ordinaire en bois posé sur une trousse colletée. L'objet du cuvelage est de former un revêtement étanche, qui diminue l'affluence des eaux pendant le fonçage du puits, et qui les retient définitivement, à partir du moment où l'on a pu établir une dernière reprise dont la base est dans des terrains convenablement imperméables. Le texte du n° **226** décrit les différentes phases de l'exécution d'une reprise.

Fig. 195. — N° **229**. — Détails d'une pièce de cuvelage en fonte. L'emploi de la fonte, en remplacement du bois, peut être nécessité, surtout pour les puits à grande section et les cuvelages profonds, par la difficulté, quelquefois même l'impossibilité de trouver des pièces de bois d'un équarrissage suffisant.

Fig. 196 et 197. — N° **235**. — Ces deux figures se rapportent au système de l'application de l'air comprimé au fonçage des puits de mine ; application faite pour la première fois par M. Triger, qui a donné son nom au système.

La figure 196 représente les dispositions employées par M. Triger, dans la première application qu'il a faite de son procédé (voir les détails n° **235**).

Depuis lors, le système a été fréquemment employé, soit par M. Triger lui-même, soit par d'autres ingénieurs, à des fonçages de puits en terrain aquifère, à des fondations de piles de ponts, de phares, de murs de quai, etc., etc.

L'artifice sur lequel il repose, considéré d'une manière générale, consiste à établir sur le point même où les ouvriers doivent travailler, une enceinte fermée dans laquelle on maintient une pression d'air suffisante pour y empêcher l'affluence des eaux : c'est, à vrai dire, l'équivalent d'une cloche à plongeur.

Le procédé est indépendant de la *quantité* d'eau, et n'est limité

Digitized by Google

que par la *pression maxima* à laquelle peuvent être soumis les ouvriers pendant leur travail (environ 3 atmosphères).

La figure 197 représente les dispositions qui ont été employées dans les environs de Liége, pour appliquer le système au foncement de puits à grande section, qui avaient à traverser, sur une dizaine de mètres de profondeur, les alluvions très-meubles et surtout très-aquifères de la Meuse (voir le texte du n° **235**).

Fig. 198. — N° **236**. — Système proposé par M. Guibal, pour traverser des terrains très-ébouleux et très-aquifères, situés à de grandes profondeurs.

Le système revient, en dernière analyse, à appliquer au fonçage d'un puits un bouclier, ou prisme tranchant, analogue à celui que Brunel a appliqué au percement du tunnel sous la Tamise. Le bouclier et sa gaîne sont poussés en avant dans le terrain, à l'aide de presses qui prennent leur point d'appui sous le dernier cadre de cuvelage relié au précédent par des vis à bois. On facilite le mouvement du bouclier, en travaillant, à l'aide d'outils appropriés, à l'intérieur de la colonne d'équilibre. Quand le bouclier est descendu d'une quantité suffisante, pour placer un nouveau cadre de cuvelage, on le met au-dessous, en l'y fixant comme il vient d'être dit.

## Planche XXXII. — Figures 199 à 203.

Fig. 199 à 200. — N° **236**. — Ces deux figures se rapportent au même objet que la précédente. La figure 199 représente le joint étanche qui doit exister entre l'extrémité postérieure de la gaîne et la surface extérieure du cuvelage, pour empêcher l'accès de l'eau dans la chambre où se manœuvrent les presses et se posent successivement de haut en bas les cadres du cuvelage.

La figure 200 représente le trépan dilatable, employé pour désagréger les sables à travers lesquels le bouclier doit se faire place.

Digitized by Google

On remarquera que les systèmes Triger et Guibal sont, l'un et l'autre, indépendants de *l'abondance* des eaux affluentes, puisqu'on n'a pas à les extraire. Le système Guibal est, en outre, indépendant de *leur pression*, ce qui n'est pas le cas du système Triger; mais, par contre, ce dernier, dans les limites de pression où il est applicable, offre à l'ouvrier beaucoup plus de ressources, pour parer à tous les accidents et pour exécuter toutes les opérations qui peuvent être nécessaires. L'ouvrier est en effet en contact avec le terrain même, et peut l'attaquer directement, tandis qu'avec le système Guibal, il en est séparé par le bouclier et ne peut l'atteindre que par l'intermédiaire, parfois bien insuffisant, d'une longue tige traversant l'étroite colonne centrale qui s'élève jusqu'au-dessus du niveau naturel des eaux.

Fig. 201 à 203. — N° **239**. — Système employé par MM. Kind et Chaudron, pour le foncement des puits dans les terrains aquifères. Le système, considéré d'une manière générale, consiste à faire un sondage sur un grand diamètre, par les procédés et avec l'outillage ordinaire, sauf les modifications de détail que ce diamètre peut comporter ; puis, une fois le trou de sonde terminé et curé bien à fond, à descendre un revêtement métallique imperméable, muni à sa base d'une garniture étanche. Le système est indépendant de l'abondance des eaux, comme les deux précédents, et de leur pression comme le système Guibal; mais il offre beaucoup plus de ressources que ce dernier, en cas d'accident, ou si les terrains sont résistants.

En somme, il a toutes les difficultés et aussi toutes les ressources que présente l'exécution d'un trou de sonde.

Il semble d'ailleurs que le grand diamètre soit de nature à diminuer les premières et à augmenter les secondes. C'est donc un procédé pratique appelé à se repandre beauconp. (Voir les détails N^os^ **239** à **243**.)

Digitized by Google

## Planche XXXIII. — Figures 204 à 208.

Fig. 204. — N° **269**. — Cette figure et les suivantes, jusqu'à celles de la planche 40 inclusivement se rapportent aux *méthodes d'exploitation*.

La figure 204 représente en coupes verticales, perpendiculaire et parallèle à la direction du gîte, le système de galeries d'allongement et de cheminées, qui servent, dans l'exploitation d'un filon ordinaire, à en opérer la division en massifs pour le reconnaître.

Fig. 205. — N° **270**. — Cette figure donne les deux méthodes distinctes, *par gradins renversés* ou *par gradins droits*, suivant lesquelles peuvent être exploités, dans un ordre arbitraire, les divers massifs de la figure précédente (voir le texte du N° **274** qui fait ressortir les propriétés caractéristiques de chacune de ces deux méthodes).

Fig. 206. — N° **272**. — Cette figure indique comment un massif peut être attaqué, par l'une ou par l'autre méthode ci-dessus, au moyen d'un *ouvrage montant*, ou d'un *ouvrage descendant*, commencé en un point quelconque d'une galerie d'allongement, sans qu'une cheminée ait été préalablement pratiquée en ce point.

Fig. 207. — N° **274**. — Application de la méthode par gradins renversés à un filon d'une puissance quelconque, sous la condition que la solidité du gîte soit en rapport avec cette puissance, et permette de pousser des gradins ayant toute la largeur de ce gîte.

Fig. 208. — N° **277**. — Quand la condition ci-dessus n'est pas remplie, c'est-à-dire quand on ne peut pas mener un front ayant toute la largeur du gîte, l'enlèvement du gîte doit se faire par

Digitized by Google

tranches, dont chacune est prise en plusieurs fois par divers chantiers contigus. Cette disposition caractérise ce qu'on nomme la *méthode en travers*.

Elle est représentée en plan et en coupe par la figure 208.

Elle consiste à enlever un massif par une série de tranches superposées prises dans l'ordre ascendant, les divers massifs superposés étaient pris au contraire dans l'ordre descendant.

Les numéros portés sur le plan indiquent l'ordre suivant lequel peuvent-être prises les diverses tailles en travers, qu'on remblaye successivement pour arriver à enlever méthodiquement une tranche entière.

La série (1), par laquelle on commence, enlève un quart du gîte ; la série (2) un autre quart, et enfin la série (3) la moitié qui subsiste au milieu du remblai.

On comprend d'ailleurs que cette manière de procéder à l'enlèvement de la tranche puisse et doive même être variée, selon les cas, qu'il y ait lieu, par exemple, pour faciliter l'abattage, de pousser les tailles dans le sens de la direction du gîte. Etc., etc.

## Planche XXXIV. — Figures 209 à 212.

Fig. 209. — N° **278**. Cette figure complète, en quelque sorte, la figure précédente. Elle représente en plan une exploitation par la méthode en travers, dans laquelle on suppose que le filon présente à l'intérieur de sa masse une partie stérile importante, qu'il convient de laisser en place. On voit comment les chantiers partant de la mère galerie s'arrêtent à cette partie stérile, à l'exception d'un chantier qui la traverse pour la reconnaître, et pour permettre de reprendre, au delà, le prolongement de ces chantiers.

Fig. 210. — N° **279**. — Application de la méthode en travers à un amas plus ou moins irrégulier.

La mère galerie d'un filon règlé est remplacée ici par une *ga-*

Digitized by Google

*lerie de contour*, qui suit toutes les sinuosités du gîte, de manière à en déterminer et à en circonscrire exactement la section horizontale.

Ensuite, on trace, dans le gîte même, quelques galeries de niveau qui servent de points de départ à des chantiers en travers au moyen desquels on procède à l'enlèvement de la tranche correspondante. Ces chantiers peuvent être orientés et multipliés selon les besoins.

La 1re tranche exploitée et remblayée (sauf les galeries principales), on monte en seconde tranche, puis en troisième et ainsi de suite.

La figure suppose qu'on est en sixième tranche; les 5 précédentes sont remblayées complétement, sauf les galeries principales de la 1re, avec lesquelles la 6me est en communication, au moyen de cheminées ménagées à travers les remblais des quatre tranches intermédiaires.

Fig. 211. — N° **281.** — Exploitation d'une masse puissante fournissant peu ou point de remblais. La méthode est encore une *méthode en travers ;* mais au lieu de remblayer, on procède par dépilage avec éboulement. Un étage se prend par tranches successives dans l'ordre descendant. Chaque tranche a pour hauteur la hauteur d'une galerie de traçage, augmentée de l'épaisseur d'un estau qu'on enlève autant que possible en dépilant. La coupe en travers représente plusieurs tranches en traçage en dessous d'un étage déjà dépilé. La coupe en long montre comment les diverses tranches d'un étage doivent être prises en battant en retraite. Le dépilage d'une tranche quelconque doit être en arrière de celui de la tranche supérieure et en avant de celui de la tranche inférieure.

Fig. 212. — N° **283.** — Exploitation d'une masse puissante qu'on *ne peut* remblayer et qu'on *ne veut pas* dépiler.

On applique une *méthode en travers* avec estaus.

Les traçages doivent être faits dans les diverses tranches, de

Digitized by Google

manière à superposer exactement les pleins d'un côté, et les vides de l'autre.

En passant d'une tranche à une tranche inférieure, on augmente la hauteur de l'estau, et l'on augmente également la largeur des piliers, en diminuant d'autant celle des chantiers.

Une telle méthode est regardée aujourd'hui comme surannée, et applicable, tout au plus, dans quelques cas très-particuliers, de matière peu précieuse, ou de remblais très-chers, ou de terrains ayant une très-grande valeur, etc...

## Planche XXXV. — Figures 213 et 214.

Fig. 213. — N° **285**. — Cette figure représente le système d'exploitation par longues tailles, ou grandes tailles, tel qu'on peut l'appliquer à des couches de houille minces rapprochées de la position horizontale.

Ces tailles sont successivement prises sur une des parois d'une voie de fond, au fur et à mesure que cette voie est avancée d'une quantité suffisante.

On a ainsi une série de tailles contiguës, en retraite les unes par rapport aux autres, qu'on étend jusqu'à la limite du champ d'exploitation.

Fig. 214. — N° **289**. — Variante de la disposition précédente, consistant en une série de tailles montantes, de largeur moyenne, desservies chacune par une voie inclinée dans laquelle on met un plan incliné automoteur dont on déplace tous les deux ou trois jours le mécanisme, pour le remonter à mesure que le front de taille avance.

On remarque, sur la figure, la galerie de recoupage parallèle à la costeresse, que l'on ouvre lorsque les voies montantes ont acquis une grande longueur (voir le texte du n° 289). On réduit ainsi l'étendue des galeries à l'état d'entretien de tailles montantes. Cette disposition convient aux couches ayant une inclinaison prononcée, mais non très-forte (15 à 20° par exemple, au maximum).

Digitized by Google

## Planche XXXVI. — Figures 215 et 216.

Fig. 215. — N° **293**. — Cette figure représente un *maintenage*, c'est-à-dire un système de gradins renversés applicable à une couche très-dressée, dans laquelle les tailles sont, obligatoirement, menées suivant la direction.

Fig. 216. — N° **292**. — Variante de l'exploitation par grandes tailles, dans laquelle on mène des tailles chassantes desservies par une galerie diagonale, dite une demi-pente, ou une voie tierne, qui remplace les plans inclinés automoteurs.

La figure montre comment on peut, par une nouvelle diagonale venant recouper les diverses voies de niveau qui aboutissent au bas de chaque taille, supprimer toute la partie de ces voies de niveau comprise entre cette diagonale et celle qu'elle remplace.

Cet artifice diminue la longueur des galeries à l'état d'entretien; la première diagonale joue par rapport à l'ancienne le même rôle que la galerie de recoupage de la figure 214 par rapport à la costeresse.

La disposition de la figure 216 porte le nom de *gradins couchés*.

Elle convient particulièrement dans le cas où l'inclinaison de la couche, toujours assez prononcée, varie d'un point à un autre entre des limites assez étendues : les diverses voies qui aboutissent au bas de chaque gradin conservent leur niveau ; c'est seulement la longueur de ce gradin qui varie.

## Planche XXXVII. — Figure 127.

Fig. 217. — N° **299**. — Type d'une exploitation par massifs longs, applicable aux couches de houille d'une épaisseur moyenne.

On distinguera sur la figure comment, à l'aide de quelques galeries, suivant la direction et suivant la pente, on fait une



Digitized by Google

première division en quartiers, qui s'étend progressivement jusqu'aux limites des champs d'exploitation ; puis comment chaque quartier peut être divisé en longs massifs et même dépilé, pendant que les autres quartiers situés au delà ne sont encore qu'en traçage (voir nos **295** et snivants les considérations générales sur l'exploitation des couches moyennes).

## Planche XXXVIII. — Figures 218 à 223.

Fig. 218. — N° **301**. — Dépilage des massifs longs de la figure précédente par une série de tailles montantes, lesquelles peuvent être ou bien immédiatement contiguës, ou bien, comme l'indique la figure, isolées les unes des autres par un petit massif de charbon qui limite des éboulements et dont on reprend ce que l'on peut, en battant en retraite, quand on abandonne la taille et qu'on la déboise en laissant les éboulements se produire.

Fig. 219. — N° **302**. — Dépilage par une taille chassante, ou, plus exactement, par deux tailles chassantes marchant en sens contraire l'une de l'autre, à partir du milieu d'un massif que l'on dépile (voir aussi fig. 217).

Fig. 220. — N° **302**. — Disposition d'un dépilage dans une couche très-inclinée. La taille est menée *chassante ;* mais au lieu d'avoir un front rectiligne, on a une ligne brisée analogue au maintenage de la figure 215, afin que les divers ouvriers, placés en retraite les uns par rapport aux autres, puissent travailler sans se gêner. Le gradin supérieur de ce maintenage sert à empêcher la taille d'être envahie par les éboulements du dépilage supérieur. On la rabat en arrière pour laisser couler ces éboulements. A défaut de remblais, comme dans le cas de la figure 215, les ouvriers se placent en s'échafaudant au moyen des buttes qui forment le boisage.

Fig. 221. — N° **304**. — Cette figure et les suivantes se rapportent

Digitized by Google

à l'exploitation des couches puissantes, c'est-à-dire ayant une épaisseur supérieure à la hauteur qu'on donne habituellement aux galeries de mine. On suppose qu'on ait fait exactement la même division par massifs longs ci-dessus indiquée pour les couches moyennes, en effectuant d'ailleurs le traçage au mur de la couche. Il restera à dépiler les massifs, en opérant, non-seulement sur la hauteur donnée d'abord aux galeries, mais encore sur les bancs supérieurs restés en couronne dans ces galeries.

La figure 221 représente l'application du système ci-dessus indiqué. On opère le dépilage par des tailles chassantes qui prennent directement les bancs inférieurs, et rabattent les bancs supérieurs en arrière du front de taille. L'éboulement du toit suit en arrière du rabattage : on tâche de le régler de manière que la distance du front de taille aux éboulements varie entre des limites peu écartées.

Fig. 222. — N° **305**. — La figure 222 représente un autre mode de dépilage de ces couches épaisses, employé dans les localités où l'on peut se procurer facilement des bois de grande dimension. On opère par une série de tailles montantes contiguës, qu'on prend en gradins droits sur toute la hauteur de la couche; puis après avoir circonscrit tout le chantier par des lignes de buttes, dont l'objet est de retenir les éboulements en les empêchant de couler dans la taille contiguë et plus tard dans la taille inférieure, on déboise tout le chantier et on laisse ébouler.

On voit en A le plan d'un chantier, après que l'éboulement vient de se faire, et lorsque le chantier contigu n'est pas encore commencé.

En B, se trouve la coupe de la figure A, par un plan vertical passant par l'axe de la galerie de traçage inférieure au massif que l'on dépile.

En C, est une coupe semblable, faite quand un chantier est achevé et encore boisé.

En D, est la coupe de ce chantier faite suivant l'inclinaison de la couche pendant qu'il est en cours d'exécution.

Digitized by Google

(Voir le texte du n° **305** pour les détails de ce procédé de dépilage.)

Fig. 223. — N° **305**. — Indication de quelques dispositions, au moyen desquelles, on peut, s'il y a lieu, déboiser un chantier tel que celui dont on vient de parler, sans exposer les ouvriers.

La chute et l'enlèvement des bois, au lieu de se faire à l'aide de la hache, selon l'usage ordinaire, se font de loin, à l'aide de chaînes, sur lesquelles on agit avec des crics, ou avec des leviers convenablement disposés. Ce système pourrait être utile, si la consistance du toit était telle qu'on ne pût enlever un bois sans amener immédiatemeut la chute d'une partie correspondante du toit.

## Planche XXXIX. — Figures 224 à 229.

Fig. 224. — N° **306**. — Exploitation de la grande couche du Staffordhire dite *Ten yards Coal*. L'exploitation consiste à mener une séries de galeries très-larges ayant toute la hauteur de la couche, dans l'axe desquelles on réserve quelques piliers carrés pour soutenir le toit.

Les galeries constituent à peu près toute l'exploitation ; les massifs longs qui les séparent et les piliers carrés qui en soutiennent le toit sont considérés comme à peu près perdus. Cette méthode d'exploitation suppose un charbon solide et un bon toit. Ces deux conditions amplement remplies, la méthode peut être économique, sans causer trop de gaspillage et sans être trop dangereuse pour les ouvriers (voir le texte des n°s **306** et **307**). On remarquera les petites galeries ménagées dans l'intérieur des massifs au mur de la couche. C'est par là que se font les transports et la ventilation. Si l'on rapproche la figure de celle de la planche 57 (*fig.* 217), ces petites galeries pourront être assimilées au réseau primitif qui divise le champ d'exploitation en quartiers, et les grandes galeries dont on vient de parler pourront

Digitized by Google

être regardées comme équivalentes au travail de subdivision en massifs et de dépilage qu'on fait dans chacun de ces quartiers.

Fig. 225 et 226. — N° **310** à **315**. — Application du principe consistant à considérer une grosse couche comme formée par le rapprochement ou, la superposition de plusieurs couches d'épaisseur moyenne, ou, en d'autres termes, à diviser la grosse couche en tranches parallèles à la stratification, que l'on exploite successivement, comme autant de couches distantes de moyenne épaisseur.

Dans la figure 225, on suppose qu'on les exploite successivement par dépilage, et par conséquent dans l'ordre *nécessairement descendant*.

C'est la méthode dite de Blanzy.

Dans la figure 226, on les exploite avec remblai complet, et par conséquent dans un ordre qui sera *le plus souvent ascendant*.

C'est la méthode de Rive-de-Gier.

Dans l'application de la méthode de Blanzy, on donne aux tranches une hauteur sensiblement supérieure à celles des galeries, afin d'avoir un estau servant de toit pendant le traçage, estau qu'on reprend lors du dépilage, en le rabattant par le système indiqué à la figure 221.

Dans la méthode de Rive-de-Gier, on ne donne aux tranches que la hauteur même des galeries, pour pouvoir remblayer les chantiers plus facilement.

Fig. 227 et 228. — N° **316**. — Exemples de dépilages avec remblai complet, dans l'application de la méthode de Rive-de-Gier.

Le massif long est supposé dépilé par une série de tailles contiguës prises en travers du massif, soit de l'amont-pendage à l'aval (*fig.* 227), soit de l'aval-pendage à l'amont (*fig.* 228). On doit remarquer que ces mêmes systèmes de dépilages s'appliqueraient aux couches de puissance moyenne, que l'on jugerait utile d'exploiter par massifs longs en remblayant, au lieu de laisser les éboulements se produire dans les dépilages.

Digitized by Google

Fig. 229. — N° **320**. — Plan et coupes d'une exploitation, dans le cas où la couche de houille est, à la fois, très-puissante et très-inclinée. Le principe à appliquer dans ce cas est la division du gîte non en tranches parallèles à la stratification, mais en tranches horizontales ; en d'autres termes, on doit employer une *méthode en travers*.

La figure 229 est, à proprement parler, l'application de la méthode de Blanzy, avec cette particularité que les tranches sont prises en travers, et ont, par conséquent, une largeur limitée. Cette méthode peut-être désignée sous le nom de *méthode en travers avec dépilages*.

## Planche XL. — Figures 230 à 245.

Fig. 230. — N° **323**. — Cette figure et les deux suivantes sont relatives, comme la figure 229, à l'exploitation des grosses couches très-dressées.

Le système consiste toujours à décomposer l'étage à exploiter en une série de tranches horizontales ; mais à les prendre successivement en les remblayant. C'est une *méthode en travers avec remblai*, tout à fait analogue à celle qu'on applique aux filons puissants.

On peut dire encore qu'elle est à la méthode de Rive-de-Gier ce qu'est le système de la figure 229 à la méthode de Blanzy.

La figure 230 offre une disposition particulière, qui n'est pas essentielle à la méthode, mais qui peut être fort utile avec des charbons facilement inflammables. A la mère galerie tracée à la base d'un étage, on ajoute une galerie auxiliaire tracée en dehors de la couche, par laquelle se fait le roulage, si un incendie vient à obliger de condamner par des barrages une portion quelconque de la mère-galerie (voir N° **323**).

Fig. 231 et 232 — N°s **325** et **326**. — Ces deux figures montrent comment on peut, dans l'application de la méthode en travers avec remblai, faciliter l'abattage, et, en outre, ce qui est fort

Digitized by Google

important, augmenter la puissance de production d'une tranche, en lui donnant une plus grande épaisseur, comparable à celle des tranches d'une exploitation en travers avec dépilages.

Il faut alors, en général, avoir deux mères galeries, l'une, la plus basse, pour enlever les charbons, l'autre, au niveau de la tranche supérieure, pour amener les remblais ; cette dernière pourra être, à son tour, la galerie au charbon d'une seconde tranche, et les remblais arriveront alors par la galerie prise au niveau de la troisième tranche. Etc., etc.

Dans la figure 231, on suppose les chantiers menés transversalement.

Dans la figure 232, on peut supposer les chantiers poussés dans le sens de la stratification ; de telle sorte qu'une tranche s'enlève en prenant successivement les divers bancs qui la composent. Cette disposition peut être de nature à rendre l'abattage plus facile.

Elle est à recommander, lorsque la couche présente de gros nerfs intercalés dans son épaisseur. Ils peuvent, en effet, par cette disposition, être laissés en place, tandis qu'ils sont complétement abattus, lorsqu'on enlève la tranche par une série de tailles transversales contigues.

Fig. 233 à 235. — N° **336**. — Les trois figures sont relatives à la manière de se procurer des remblais, en complément de ceux que l'on peut trouver au chantier même, ou au jour.

Les figure 233 et 234 représentent des chambres d'éboulement placées au toit du gîte.

La figure 235 suppose que le gîte est rencontré par une grande faille remplie de matières sans consistance. Un point où une galerie vient rencontrer cette faille peut, moyennant quelques dispositions, devenir une carrière à remblais plus ou moins importante (voir le N° **336**).

Digitized by Google

Digitized by Google

# TABLE DES MATIÈRES

## CONTENUES DANS LE PREMIER VOLUME

PAGES

PRÉFACE. . . . . I

ERRATA DU PREMIER VOLUME. . . . . V

## CHAPITRE PREMIER.

### DÉFINITIONS ET NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

NUMÉROS 1 A 59. — PAGES 1 A 52.

NUMÉROS

Objet de l'exploitation des mines. . . . . 1

Division des gisements en couches, en filons et en amas. . . . . 2 à 3

Résumé des notions de géologie nécessaires pour comprendre la division ci-dessus. . . . . 5 à 9

Définition des éléments au moyen desquels on détermine l'allure d'un gisement dans le sein de la terre. . . . . 10

Des couches en général et des accidents divers que leur allure peut présenter. — Accidents contemporains du dépôt de la couche. — Accidents postérieurs propres à la couche. — Accidents postérieurs affectant l'ensemble du terrain sédimentaire dont elle fait partie. . 11 à 18

Des filons en général. — Accidents divers : Analogies et différences de ces accidents avec ceux que présentent les couches. — Des filons-couches et des filons de contact. — Accidents propres aux

Digitized by Google

NUMÉROS

filons. . . . . 19 à 27

Des systèmes de couches et de filons. — Circonstances spéciales qui se présentent aux points d'intersection d'un gîte par une faille qui le recoupe. — Des rejets. — Règle de Schmidt, ou règle de l'angle obtus. — Cas dans lesquels la règle de Schmidt est en défaut ou ne donne rien. — Circonstances qui peuvent se présenter à la rencontre de deux filons. . . . . 28 à 35

Apparences que produisent, dans la représentation géométrique des gisements, les accidents énumérés précédemment. . . . . 36 à 37

Des amas et des autres gisements qui ne rentrent pas entièrement dans la définition des couches et des filons. . . . . 38 à 39

## CHAPITRE II.

### EXEMPLES DIVERS DE GISEMENTS.

NUMÉROS 40 A 55. — PAGES 53 A 71.

Observations préliminaires. . . . . 40

Exemples de gisements considérés au point de vue de leur étendue. 41 à 71

Exemples divers de gisements en couches, en filons, en amas, etc... Bassins houillers de Mons, de Liége, de Newcastle, de la Grand-Combe, de Ronchamp. — Districts métallifères de Przibram, de Freiberg, du Cornouailles. — Gîtes en amas de Montchanin, de Mokta-el-Hadid, du Stahlberg, de Saint-Pancré. . . . . 42 à 54

Résumé et observations finales. . . . . 55

## CHAPITRE III.

### DES TRAVAUX D'EXPLORATION ET DE RECHERCHE EN GÉNÉRAL.

NUMÉROS 56 A 75. — PAGES 72 A 90.

Ce qu'on entend par exploration et par recherches. . . . . 56

§ 1. — Des travaux d'exploration.

Indices divers pouvant faire présumer l'existence d'un gisement. — Constitution géologique du sol. — Fragments de gangues et de minerais à la surface du sol. — Affleurements. — Anciens travaux. — Traditions locales. — Exploitation en activité dans le voisinage. 57 à 62

Digitized by Google

§ 2. — Des travaux de recherche.

NUMÉROS

Recherches par galeries, par puits, par une combinaison de galeries et de puits. . . . . 63 à 65
Nécessité de consacrer à ces recherches l'argent et surtout le temps nécessaires. . . . . 66
Questions diverses à résoudre pour reconnaître si le gîte, objet des recherches, est exploitable avec profit. . . . . 67 à 72
Résumé et conclusions. . . . . 73

## CHAPITRE IV.

### EXPLORATION PAR SONDAGES.

NUMÉROS 74 A 108. — PAGES 91 A 145.

§ 1er. — Aperçu général sur les sondages.

Sondages ayant pour objet l'exploration du sol. . . . . 74 à 75
Sondages pour puits artésiens. — Théorie des puits artésiens. . . . 76 à 78
De l'établissement des puits artésiens dans le bassin de Paris. . . . 79
Sondages pour exploitation par dissolution. . . . . 80
Sondages divers sur une petite échelle. . . . . 81

§ 2. — De l'outillage employé dans l'exécution des trous de sonde.

Tiges de la sonde. — Tiges en fer et en bois. — Joint à coulisse. — Divers outils à chute libre. — Guides et parachutes divers. — Têtes de sonde. . . . . 82 à 86
Outils divers pour l'entaillement. . . . . 87 à 88
Outils divers pour le curage. . . . . 89
Vérificateur et emporte-pièces. . . . . 90 à 91
Outils employés en cas d'accidents. . . . . 92
Du tubage en général. — Tuyaux de retenue. — Tubages définitifs. 93 à 94
Outils pour mettre en place et pour extraire les tuyaux. . . . . 95 à 96

§ 3. — Des engins employés dans l'exécution des trous de sonde.

Observations préliminaires. . . . . 97
Engin ou chèvre pour la manœuvre des tiges. . . . . 98
Manivelle pour le battage. — Treuil pour le curage à l'aide de la cloche à soupape. . . . . 99 à 100

Digitized by Google

§ 4. — De l'exécution d'un sondage.

NUMÉROS

Choix de l'emplacement. — Installation. — Commencement du travail. — Organisation définitive du travail. . . . . 101
Aperçu sur le sondage à la corde, ou sondage chinois, et sur quelques autres procédés spéciaux. . . . . 102 à 103
Exécution des petits sondages. . . . . 104

§ 5. — Données diverses relatives aux sondages.

Programme suivant lequel un projet de grand sondage doit être étudié. — Arrangements à prendre avec les entrepreneurs. . . . . 105 à 106
Données numériques sur l'avancement journalier. . . . . 107
Exemples d'installations pour grands sondages. . . . . 108

## CHAPITRE V.

### DES TRAVAUX D'ABATTAGE.

NUMÉROS 109 A 144. — PAGES 146 A 205.

§ 1er. — Observations préliminaires.

Classification des roches, selon le degré de dureté qu'elles présentent. . . . . 109 à 111

§ 2. — Description des procédés.

Travail des roches éboulueuses, ou travail à la pioche. . . . . 112 à 113
Travail des roches tendres — ou travail au pic. — Pics divers. — Pic ordinaire. — Pic à rocher. — Schrämhammar. — Pic anglais. — Aiguilles liégeoises . . . . . 114
Travail à la pointerolle . . . . . 115
Travail à la poudre. — Ses avantages sur le travail à la pointerolle. — Outils ordinaires du tirage à la poudre. . . . . 116 à 117
Exécution ordinaire d'un trou de mine ou fourneau. . . . . 118
Accidents. — Moyens divers d'y parer. — Emploi des étoupilles ou mèches de sûreté. . . . . 119
Travail à un et à plusieurs hommes . . . . . 120
Tentatives diverses faites en vue d'améliorer le procédé de tirage à la poudre : pour réduire la consommation de poudre ; pour réduire le travail du forage ; pour réduire le travail du bourrage. . 121 à 123
Comparaison entre les grands et les petits coups de mine . . . . . 124
Avantages des coups de mine simultanés. Emploi de l'électricité . . 125

Digitized by Google

NUMÉROS

Remplacement de la poudre ordinaire par des compositions qui en diffèrent par la force et la vivacité.— Emploi de la nitro-glycérine et des dynamites diverses. . . . . 126 à 130
Entaillement à l'aide du feu. . . . . 131
Entaillement à l'aide de l'eau. . . . . 132 à 133

§ 3. — Applications et données numériques diverses.

Exemples d'un chantier à ciel ouvert, d'une galerie à travers bancs à petite ou à grande section, d'un puits vertical, d'une grande taille dans une couche mince de houille, d'un chantier dans une couche puissante, d'une galerie d'allongement dans un filon . . . 134 à 139
Remarques générales sur les exemples précédents.— Organisation des chantiers . . . . . 140
Exemples de données numériques. — Emploi des modules de transition pour passer d'un travail à un autre . . . . . 141 à 144

## CHAPITRE VI.

### APPLICATION DES MOYENS MÉCANIQUES A L'ABATTAGE.

NUMÉROS 145 A 168. — PAGES 203 A 254.

Observations préliminaires sur l'importance de la question. . . . . 145 à 148
Appareils servant à utiliser la force de l'homme.— Perforateur Lisbet. Perforateur Leschot.— Haveuse Gay.— Appareil Delahaye.— Appareils Bereins . . . . . 149 à 152
Appareils servant à utiliser la force des moteurs inanimés.— Considérations sur le choix du moteur. . . . . 153 à 154
Haveuse de Carrett et Marshall. — Haveuse de Jones et Levick. . . 155
Autres haveuses.— Avantages économiques à espérer de ces appareils. 156 à 157
Perforateur Leschot mû mécaniquement par la machine de M. Perret. 158
Appareils Sommeiller employés au percement du mont Cenis. . . . 159 à 163
Divers autres perforateurs, et spécialement perforateur François et Dubois . . . . . 164 à 166
Énumération de divers appareils pouvant être employés à l'entaillement des roches . . . . . 167
Résumé et conclusions. . . . . 168

Digitized by Google

## CHAPITRE VII.

### DU BOISAGE ET DU MURAILLEMENT COURANT DANS LES MINES.

NUMÉROS 169 A 203. — PAGES 235 A 283.

NUMÉROS

Observations préliminaires . . . . . 169

§ 1er. — Du boisage.

Notions générales sur les diverses espèces de bois employées dans les mines. — Prix d'achat. — Magasinage. — Débit, etc . . . . . 170 à 175
Principes à suivre dans la pose des bois. . . . . 176 à 177
Boisage d'une taille ou d'un chantier de dépilage. . . . . 178 à 181
Boisage à cadres d'une galerie de mine, en terrain ordinaire, en terrains ébouleux et en terrains coulants . . . . . 182 à 184
Boisage d'un puits de mine. — Boisage provisoire. — Boisage définitif en terrain ordinaire, en terrain plus ou moins ébouleux, en terrains coulants . . . . . 185 à 187

§ 2. — Du muraillement.

Distinction entre le muraillement et le boisage comme moyen de soutènement . . . . . 188
Notions générales sur le muraillement . . . . . 189 à 190
Muraillement d'une galerie à conserver au milieu de remblais . . . 191
Muraillement d'une galerie ordinaire, en plein cintre, avec pieds-droits, elliptique ou à plusieurs centres. . . . . 192 à 193
Muraillement en terrain ébouleux, après boisage; muraillement immédiat sans boisage préalable. . . . . 194 à 195
Exemples divers de muraillement de galerie en direction sur des filons. 196
Muraillement d'un puits de mine ; par reprises, avec emploi de roulisses. — Détails sur l'exécution du travail. . . . . 197
Précautions à prendre, à mesure que le terrain devient moins solide. — Suspension des roulisses . . . . . 198
Muraillement en terrain ébouleux, après boisage. — Muraillement immédiat au moyen d'une tour enfoncée dans le terrain. — Applications diverses. . . . . 199 à 201

§ 3. — Données numériques sur le boisage et le muraillement.

Coût des ouvrages ordinaires considérés précédemment. — Boisage et muraillement d'une galerie et d'un puits. . . . . 202
Aperçu de la dépense totale du boisage pour une mine donnée . . . 203

Digitized by Google

## CHAPITRE VIII.

### DE L'EXÉCUTION ET DU SOUTÈNEMENT DES EXCAVATIONS DE FORMES ET DE DIMENSIONS SPÉCIALES.

NUMÉROS 204 A 222. — PAGES 294 A 307.

NUMÉROS

Observations préliminaires . . . . . 204
Embranchements et bifurcations de galeries. . . . . 205
Recettes ou places d'accrochage. — Emploi de chapeaux en fer et de voussoirs en bois . . . . . 206 à 208
Réservoirs pour les eaux. . . . . 209
Chambres de machines, écuries, etc. . . . . 210 à 211
Tunnels à grande section, en terrains solides ou plus ou moins éboulieurs. — Question de l'espacement des puits de service. . . . . 212 à 218
Cas des terrains coulants. . . . . 219 à 220
Agrandissement de la section d'un tunnel. . . . . 221
Résumé et conclusions. . . . . 222

## CHAPITRE IX.

### DE L'EXÉCUTION ET DU SOUTÈNEMENT DES EXCAVATIONS DANS LES TERRAINS TRÈS-AQUIFÈRES.

NUMÉROS 223 A 245. — PAGES 308 A 339.

Remarques préliminaires sur l'importance des procédés à décrire. . 223 à 224

§ 1er. — Du cuvelage ordinaire.

Circonstances auxquelles s'applique le cuvelage . . . . . 225
Description du procédé ordinaire . . . . . 226
Variantes diverses. . . . . 227
Emploi du bois, de la fonte, de la maçonnerie. — Choix à faire entre les divers matériaux. . . . . 228 à 231
Cuvelages partiels. . . . . 232
Cas où le procédé du cuvelage peut être en défaut. . . . . 233

§ 2. — Procédés nouveaux remplaçant le cuvelage ordinaire.

Idée sommaire de ces procédés nouveaux. . . . . 234
Détails sur le procédé Triger. . . . . 235
Détails sur le procédé Guibal. . . . . 236 à 237

Digitized by Google

NUMÉROS

Détails sur le procédé Chaudron.—Exécution du fonçage. — Descente du cuvelage.—Manière de le rendre étanche à sa base.—Bétonnage. 238 à 242
Cas d'emploi du procédé. . . . . 243
Comparaison entre les trois procédés précédemment décrits. — Conclusion . . . . . 244 à 245

## CHAPITRE X.

### GÉNÉRALITÉS SUR L'AMÉNAGEMENT, LES TRAVAUX PRÉPARATOIRES ET L'EXPLOITATION D'UNE MINE.

NUMÉROS 246 A 266. — PAGES 319 A 361.

Résumé des chapitres précédents. . . . . 246
Des travaux d'aménagement, de préparation et d'exploitation. . . 247
Dispositions à prendre pour l'aménagement d'un gîte. . . . . 248
Nécessité d'avoir deux orifices distincts pour communiquer avec le jour . . . . . 249
Considérations qui déterminent les dimensions et l'emplacement des puits ou des galeries. . . . . 250 à 254
Des travaux préparatoires. — Échelle sur laquelle ces travaux doivent être entrepris. . . . . 255 à 258
Ordre à suivre dans l'exploitation des diverses parties d'un même gîte, ou des divers gîtes d'un même système. . . . . 259 à 260
Des travaux d'exploitation. — Caractères généraux des diverses méthodes d'exploitation.—Comparaison entre ces diverses méthodes. 261 à 264
Conditions générales auxquelles doit satisfaire une méthode rationnelle d'exploitation . . . . . 265
Circonstances essentielles à prendre en considération dans le choix de la méthode. . . . . 266

## CHAPITRE XI.

### DESCRIPTION GÉNÉRALE DES PRINCIPALES MÉTHODES D'EXPLOITATION.

NUMÉROS 267 A 358. — PAGES 362 A 430.

Considérations générales sur l'objet de ce chapitre. . . . . 267

§ 1er. — Méthodes d'exploitation applicables aux gîtes d'origine filonienne. — Caractères généraux de ces gîtes.

*Premier cas.* — Filons métalliques de faible puissance. — Subdivision en massifs. — Enlèvement d'un massif en gradins renversés, en

Digitized by Google

NUMÉROS

gradins droits. — Ouvrage montant, ouvrage descendant. . . . 268 à 273
Comparaison entre les deux méthodes. . . . . 274 à 275
*Deuxième cas.* — Filons puissants et amas.—Limite d'application de la méthode des gradins renversés. — Méthode en travers proprement dite, ou avec remblai. . . . . 276 à 279
*Troisième cas.* — Filons puissants ou amas ne contenant qu'une quantité insuffisante de remblais.—Emploi des remblais rapportés. — Méthode en travers par dépilage, ou sans remblai. — Méthode en travers avec estaus, sans dépilage et sans remblai . . . . . 280 à 283

§ 2. — Méthodes d'exploitation applicables aux gîtes d'origine sédimentaire.

Classification des couches auxquelles s'appliquent les méthodes à décrire . . . . . 284
*Premier cas.* — Exploitation des couches de houille minces. — Le remblai forme un trait saillant des méthodes employées. — Méthode par longues tailles, ou par grandes tailles. — Sens dans lequel ces tailles peuvent ou doivent être dirigées. — Circonstances qui déterminent la largeur des fronts de taille. . . . . 285 à 288
Moyens de réduire la longueur des galeries à l'état d'entretien. . . 289
Tailles montantes, tailles chassantes. — Tailles droites. — Maintenages. . . . . 290 à 293
Emploi des demi-pentes et des plans inclinés automoteurs.. . . . . 294
*Deuxième cas.* — Exploitation des couches de houille de puissance moyenne. — Cas ramené au précédent par l'emploi des remblais rapportés. — Méthodes spéciales au deuxième cas, par piliers et galeries, par massifs longs avec dépilages. . . . . 295 à 299
Procédés divers de dépilage. . . . . 300 à 303
*Troisième cas.* — Exploitation des couches de houille puissantes rapprochées de la position horizontale. — Importance spéciale de la question pour la France. — Exploitation par massifs longs avec dépilage et rabattage.—Méthode silésienne sans rabattage.—Méthode du Staffordshire. — Méthode américaine. . . . . 304 à 309
Principe de la décomposition d'une couche en tranches parallèles à la stratification. — Avantages de ce principe. — Son application sous deux formes. — Exploitation par tranches avec dépilage (ancienne méthode de Blanzy). — Exploitation par tranches avec remblai, dite méthode de Rive-de-Gier. — Détails divers sur ces deux méthodes. . . . . 310 à 318
*Quatrième cas.*—Exploitation des couches de houilles puissantes rapprochées de la position verticale. — Nécessité de modifier les méthodes précédentes. — Le principe de la division en tranches se modifie, en ce que les tranches doivent être prises horizontalement, et non parallèlement à la stratification. — Méthode en travers avec dépilage.—Méthode en travers avec remblai. — Détails divers



Digitized by Google

NUMÉROS

sur ces méthodes. . . . . 319 à 326

Résumé sur les quatre cas considérés précédemment.—Comparaison de ces divers cas, au point de vue du prix de revient. — Avantages des couches de moyenne épaisseur. — Causes de l'augmentation progressive du prix de revient.—Causes qui augmentent plus rapidement le prix de vente. . . . . 327 à 333

§ 3. — Appendice sur l'emploi des remblais.

Résumé sur le rôle important des remblais dans l'exploitation en général.. . . . . 334

Manières diverses de se procurer des remblais, soit au chantier, soit en dehors du chantier. . . . . 335 à 336

Introduction et mise en place des remblais. Moyens de diminuer les frais de transport. . . . . 337

Aperçu du coût des remblais.. . . . . 338

## APPENDICE.

### LÉGENDE DES PLANCHES.

PLANCHES PAGES

I. — Notions préliminaires. . . . . 431

II. — Notions préliminaires (suite). . . . . 433

III. — Notions préliminaires (suite et fin).. . . . . 436

IV. — Exemples de gisements en couches.. . . . . 439

V. — Exemples de gisements en couches (suite).. . . . . 440

VI. — Exemples de gisements en filons.. . . . . 441

VII. — Exemples de gisements en filons (suite).. . . . . 442

VIII. — Exemples de gisements en filons et en amas. — Théorie des puits artésiens. . . . . 442

IX. — Sondage. — Tiges et outils divers. . . . . 443

X. — Suite du sondage. — Têtes de tiges et outils divers. . . . . 443

XI. — Suite du sondage. — Outils divers.. . . . . 447

XII. — Suite du sondage. — Fin des outils divers. — Engins pour petit sondage à la tige, ou pour sondage à la corde. . . . . 449

XIII. — Suite du sondage. — Installation du puits artésien de Passy par M. Kind. . . . . 451

XIV. — Suite du sondage. — Installation du puits artésien établi dans la raffinerie de M. Say, au boulevard de la Gare par M. S.-J. Dru. . . . . 451

XV. — Suite du sondage. — Installation du sondage de la Butte-aux-Cailles par M. Dru. . . . . 451

XVI. — Suite et fin du sondage. — Installation du sondage de la Chapelle par MM. Degousée et Laurent.. . . . . 451

Digitized by Google

PLANCHES PAGES

XVII. — Outils du mineur. . . . . 452
XVIII. — Procédés spéciaux d'abattage. . . . . 456
XIX. — Exécution des travaux souterrains. . . . . 456
XX. — Abattage par des moyens mécaniques. — Appareils Lisbet, Leschot, Gay. . . . . 458
XXI. — Suite de l'abattage par des moyens mécaniques. — Haveuses diverses. . . . . 454
XXII. — Suite de l'abattage par des moyens mécaniques. — Appareil Sommeiller. . . . . 459
XXIII. — Suite de l'abattage par des moyens mécaniques. — Affût de l'appareil Sommeiller. . . . . 461
XXIV. — Suite et fin de l'abattage par des moyens mécaniques. — Appareil François et Dubois avec son affût. . . . . 463
XXV. — Boisage des travaux souterrains. . . . . 464
XXVI. — Suite du boisage des travaux souterrains. . . . . 465
XXVII. — Suite du boisage et muraillement des travaux souterrains. . . 467
XXVIII. — Muraillement des travaux souterrains. . . . . 468
XXIX. — Excavations de formes et de dimensions spéciales. — Embranchements. — Accrochages. — Chambres de machines. . . . 471
XXX. — Suite des excavations de formes et de dimensions spéciales. — Chambres de machines. — Tunnels à grande section. . . . 472
XXXI. — Travaux dans les terrains aquifères. — Cuvelages. — Procédés Triger. — Procédé Guibal. . . . . 474
XXXII. — Suite des travaux dans les terrains aquifères, — Suite du procédé Guibal. — Procédé Chaudron. . . . . 475
XXXIII. — Méthodes d'exploitation. — Filons d'épaisseur ordinaire et filons puissants. . . . . 477
XXXIV. — Suite des méthodes d'exploitation. — Filons puissants et amas. 478
XXXV. — Suite des méthodes d'exploitation. — Couches minces. . . . . 480
XXXVI. — Suite des méthodes d'exploitation. — Suite des couches minces 481
XXXVII. Suite des méthodes d'exploitation. — Couches de moyenne puissance. . . . . 481
XXXVIII. — Suite des méthodes d'exploitation. — Suite des couches de puissance moyenne. — Couches puissantes peu inclinées. — Modes divers de dépilages. . . . . 482
XXXIX. — Suite des méthodes d'exploitation. — Suite des couches puissantes peu inclinées. — Couches puissantes très-inclinées. . 484
XL. — Suite et fin des méthodes d'exploitation. — Suite des couches puissantes très-inclinées. — Moyens divers d'avoir des remblais, pour une méthode d'exploitation quelconque qui en comporte l'emploi dans une mesure plus forte que les chantiers n'en fournissent. . . . . 486

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

YD 04048

68709

TN145
C2
V.1

Digitized by Google

Digitized by Google